

Framework conditions and implementation scenarios for green infrastructure in schools

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Rahmenbedingungen und Umsetzungsszenarien für grüne Infrastruktur an Schulen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Hannes Veit

Matr.Nr.: 1027893

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Azra Korjenic**

Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.soc.oec **Marijana Sreckovic**

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E207, A-1040 Wien

Wien, im November 2022

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Abschluss dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt Univ. Prof.in Dipl.-Ing.in Dr.in. techn. Azra Korjenic für die Bereitstellung des Themas und Mag.a rer.soc.oec. Dr.in rer.soc.oec Marijana Sreckovic für die Unterstützung und Betreuung während der Ausarbeitung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Univ. Ass. Baumeister Dipl. Ing. Florian Teichmann für seine engagierte und kompetente Unterstützung bedanken.

Abschließend möchte ich ein herzliches Dankeschön an meine Familie, Freund*innen und Studienkolleg*innen richten, die mich durch das Studium unterstützt, begleitet und motiviert haben.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Abschluss dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt Univ. Prof.in Dipl.-Ing.in Dr.in. techn. Azra Korjenic für die Bereitstellung des Themas und Mag.a rer.soc.oec. Dr.in rer.soc.oec Marijana Sreckovic für die Unterstützung und Betreuung während der Ausarbeitung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Univ. Ass. Baumeister Dipl. Ing. Florian Teichmann für seine engagierte und kompetente Unterstützung bedanken.

Abschließend möchte ich ein herzliches Dankeschön an meine Familie, Freund*innen und Studienkolleg*innen richten, die mich durch das Studium unterstützt, begleitet und motiviert haben.

Kurzfassung

Bereits in Asien und Afrika finden sich seit mehreren 1000 Jahren Hinweise zu Bauwerksbegrünungen. Der Nutzen als Schutzfunktion, aber auch als Gartenkunst waren schon seit längerem bekannt. Der Begriff Bauwerksbegrünung entwickelte sich allerdings erst vor ca. 40 Jahren. Seitdem wurde die Pflanzenarchitektur wissenschaftlich erschlossen. Außen liegende Bauwerksbegrünungen haben einen positiven Einfluss auf das Mikroklima und auch die bauphysikalischen Aspekte des Gebäudes. Innenraumbegrünungen dienen zur Dämpfung von Geräuschen, erhöhen die Luftfeuchtigkeit und tragen zu einem höheren Wohlbefinden bei. Diese ökologischen, gesundheitlichen und ästhetischen Wirkungen von Bauwerksbegrünungen sind heute anerkannt und inzwischen sogar Bestandteil vieler Bebauungspläne. Die Raumbegrünung kann auch in schulischen Einrichtungen vorteilhaft genutzt werden. Begrünungen von Klassenräumen können zu einer höheren Konzentrationsfähigkeit der Schüler beitragen. Ein mangelndes Finanzierungsbudget ist bei der Begrünung von Schulen jedoch oft das Hindernis zur Umsetzung. In dieser Arbeit werden Umsetzungsszenarien für die Anschaffung von Begrünungen in Schulen entwickelt. Dabei wird das Augenmerk auf sogenannte „Do-It-Yourself“-Systeme bzw. „Low-Cost-Begrünungen“ gelegt. Basierend auf den Rahmenbedingungen von Begrünungen und einer Analyse eines auserwählten Fallbeispiels, schlussfolgert diese Arbeit, dass eine ausgeklügelt gestaltete Vernetzung von Schulen bzw. von Institutionen verschiedener Kompetenzen zu Zeit- und Kosteneinsparungen bei der Anschaffung von Begrünungen beiträgt. Dafür bietet sich die Gründung einer Vernetzungsplattform an. Darin können Ideen, Bauanleitungen, Materialien, fertige Projekte mit den Nutzer*innen geteilt, aber auch einzelne Aufgaben abgegeben werden. Aus der Vernetzungsplattform lassen sich drei Prinzipien, nämlich das „Teilen mit den Nutzer*innen“ („Croudsharing/sourcing“), die „Gewinnung von Nutzer*innen“ („Croudwinning“) und die „Kettenbildung“ („Chainbuilding“) ableiten. Diese drei Prinzipien resultieren in einer Einsparung von monetären und zeitlichen Ressourcen.

Abstract

There have been references for the usage of greening for a couple of 1000 of years in Asia and Africa. At these times people used it for protective function, but also as garden art. However, the term “greening in buildings” only developed about 40 years ago. Since then, the advantages of plants in architecture has been scientifically explored. Greening on the outside of buildings has a positive influence on the microclimate and also on the structural aspects of the building. Indoor greenery serves to dampen noise, increase humidity and contribute to greater well-being. Since the ecological, health and aesthetic effects of greening in buildings are well known, it has become even part of many development or architectural plans. The advantages of greening in building are also very convenient for school facilities. Greening in classrooms can improve the concentration ability of pupils and students. However, a lack of financing budget often represents the obstacle to implementation. In this work, implementation scenarios for the purchase of greening in schools are developed. Attention is paid to so-called "do-it-yourself" systems or "low-cost-greening-systems". Based on the general conditions of greening systems and on the analysis of a selected case study, the conclusion of this thesis is, that a sophisticated network of schools or institutions with different abilities contributes to time and cost savings when purchasing or developing different systems. Indeed, the establishment of a “networking platform” is a way to gain that. On the platform, ideas, building instructions, materials, completed projects or even special tasks can be shared with or submitted to users. Three principles arise from the networking platform, namely "sharing with users" ("crowdsharing/sourcing"), "acquiring users" ("crowdwinning") and "chain building". These three principles result in a saving of monetary and time resources.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	4
2.1	Entwicklung von Begrünungen.....	4
2.2	Auswirkungen von Begrünungen auf die Umwelt.....	5
2.2.1	Klimatische Aspekte.....	5
2.2.2	Lufthygienische Aspekte	6
2.2.3	Tierökologische Aspekte	6
2.3	Auswirkung von Begrünungen auf Raumklima in Innenräumen und in Klassenzimmern (physikalische Vorteile)	7
2.3.1	Auswirkungen der Begrünungen auf Menschen, insbesondere Schüler (psychische Vorteile)	8
2.4	Begrünungssysteme	9
2.4.1	Innenraumbegrünungen.....	9
2.4.2	Freiraumbegrünungen.....	12
2.5	Integration von Begrünungen im Schulraum.....	16
3	Rahmenbedingungen aus der Literatur	19
3.1	Vegetationstechnische Anforderungen an die Begrünungsanlage.	19
3.1.1	Klima	19
3.1.2	Licht	19
3.1.3	Bodenfeuchte.....	20
3.1.4	Nährstoffversorgung.....	21
3.1.5	Substrat.....	21
3.2	Bautechnische Rahmenbedingungen	22
3.2.1	Brandschutz	22
3.2.2	Statische Auflagen	23
3.2.3	Bewässerungssystem (Wasseranschluss).....	24
3.2.4	Stromanschluss	25
3.2.5	Erreichbarkeit.....	25
3.2.6	Behördliche Hürden	25
3.3	Finanzielle Aspekte der Begrünungen	26
3.3.1	Lebenszykluskosten von Low-Cost-Begrünungssysteme	26
3.3.2	Kompetenzen im Schulbereich	27
4	Methodik.....	29
4.1	Fallstudie „Schulprojekt“	29
4.2	Interview-Leitfaden.....	30
4.3	Datenanalyse	31
4.4	Umsetzungsszenarien.....	31

4.5	Ermittlung der Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen ...	32
5	Fallstudie	34
5.1	Darstellung des Ereignisses.....	34
5.2	Prozessdarstellung.....	39
6	Ergebnisse	43
6.1	Prozessanalyse und Phänomene	43
6.2	Erkenntnisse Fallbeispiel	46
6.3	Vernetzungsplattform	48
6.4	Umsetzungszszenarien	49
6.5	Umsetzung der Vernetzungsplattform.....	52
6.6	Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen	52
6.6.1	Herstellkosten bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe.....	54
6.6.2	Instandhaltung von bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe.....	55
6.6.3	Abbruch und Entsorgung von bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe	57
6.6.4	Lebenszykluskosten von bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe	58
6.6.5	Lebenszykluskosten verschiedener Begrünungssysteme	59
7	Schlussfolgerung.....	61
8	Ausblick.....	63
9	Anhang.....	64
9.1	Anhang A: Lebenszykluskosten Fassadenbegrünungen	65
9.2	Anahng B: Schüler*innen Entwürder der LC- Begrünungen	90
10	Abbildungsverzeichnis.....	93
11	Tabellenverzeichnis.....	93
12	Literaturverzeichnis	94

Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizitsyndrom
AHS	Allgemeinbildende höhere Schule
BGB FB	bodengebundene Fassadenbegrünung
BMHS	Berufsbildende mittlere und höhere Schulen
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CSBT	Camillo Sitte Bautechnikum
dB	Dezibel
EH	Einheit
etc	et cetera
FFG	Forschungsförderungsgesellschaft
HBLFA	Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn
HTL	Höhere Technische Lehranstalt
Jhd.	Jahrhundert
kg	Kilogramm
kN	Kilonewton
l_{fm}	Laufmeter
LZK	Lebenszykluskosten
m²	Quadratmeter
m³	Qubikmeter
MAX	Maximum
MIN	Minimum
MS	Mittelschule
nM	Nanometer
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖNORM	Österreichische Norm
P2P	Peer-to-Peer
SBS	Sick-Building-Syndrom
techn.	technisch
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
VS	Volksschule
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Im Klimafahrplan der Stadt Wien sind Begrünungsmaßnahmen bereits fest verankert. Smart City Maßnahmen geben dabei den Weg vor, vor allem zur Vorbeugung von Hitzeinseln und zur Entsiegelung der Stadt [1], [2]. Daraus ergeben sich unzählige innovative Projekte, die neue ausgeklügelte Begrünungssysteme schaffen, aber auch Fördermöglichkeiten, die zu einer größeren Anzahl an Projekten beitragen und die Finanzierung erleichtern [3]–[5]. Meist handelt es sich bei diesen Projekten um Außenraumbegrünungen in Form von Fassaden- und Dachbegrünungen. Derartige Begrünungen führen zu einer Verbesserung des Klimas aufgrund des Verdunstungseffektes (Evapotranspiration), filtern Schadstoffe aus der Luft und tragen zur Biodiversität in Städten bei, indem sie Vögeln und Insekten einen neuen Lebensraum bieten (siehe Kapitel 2.2). Während Außenraumbegrünungen sich vor allem auf die Umwelt vorteilhaft auswirken, zeigen Innenraumbegrünungen positive Effekte auf das Behaglichkeitsempfinden und sogar auf die Gesundheit des Menschen [6]–[8]. Die durch die Bepflanzung geschaffene höhere Luftfeuchte im Raum kann zur Reduktion von Krankheitstagen von Angestellten in Büros oder von Schüler*innen in Klassenzimmern führen. Studien, die die Auswirkung von Innenraumbegrünungen in Schulen untersuchten, kamen zum Schluss, dass die Konzentrationsfähigkeit und die Mitarbeit der Schüler*innen verbessert wird [9], [10]. Neben den psychischen Aspekten haben Innenraumbegrünungen auch funktionale Vorteile. Pflanzenwände können nämlich zur Raumabtrennung genutzt werden und wirken schalldämmend [11]–[13]. Letzteres kommt Büroräumen oder Klassenzimmern sehr zugute.

Trotz der vielen Vorteile grüner Infrastruktur an Schulen wird die Umsetzung von rechtlichen, baurechtlichen Auflagen und finanziellen Herausforderungen gehemmt. Einzuhalten sind z.B. die Barrierefreiheit, der Brandschutz, der Schutz vor Vandalismus usw. Der Bewältigung der finanziellen Hürden widmet sich das Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“, unter der Leitung der TU Wien – Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen, Forschungsbereich für ökologische Bautechnologie [14]. Darin werden Finanzierungsmodelle sowie optimierte Begrünungssysteme herausgearbeitet und darüber hinaus einfach umsetzbare und kostengünstige Varianten („Do-it-Yourself-Lösungen“, bzw. „Low-Cost-Begrünungen“) an Schulen entwickelt, die an einigen davon

umgesetzt werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten die Schüler*innen des Camillo Sitte Bautechnikums (CSBT) und der HBLFA Gartenbau Schönbrunn (HBLFA) u.a. mehrere Low-Cost-Innen- und Freiraumbegrünungen, die sie anschließend bauten. Obwohl dieses Projekt als Vorzeigeprojekt für den Erhalt von Begrünungen an Schulen gilt und mehrere Erfahrungen davon abgeleitet werden können, kann dieses Konzept nicht gesamtheitlich auf andere Schulen übertragen werden, da innerhalb des Forschungsprojekts Ressourcen wie Finanzierung, Zeit und Fachwissen zur Verfügung gestellt wurden.

Auf Grundlage der Forschungsfragen „Was sind die Rahmenbedingungen für die Umsetzung von Begrünungen in Schulen und wie schauen mögliche Umsetzungsszenarien für den Erhalt von Begrünungen in Schulen aus?“, untersucht diese Arbeit die Machbarkeit und bildet Strukturen heraus, in denen eine Umsetzung von Low-Cost-Begrünungen in weiteren Schulen, außerhalb eines Forschungsprojektes, möglich ist.

Damit in mehreren Schulen Begrünungen umsetzbar werden, sind Rahmenbedingungen für Pflanzen, finanzielle, (bau)rechtliche, aber auch „strukturelle“ Rahmenbedingungen zu überwinden. Als strukturelle Rahmenbedingungen werden in dieser Arbeit solche bezeichnet, die sich nicht auf die erstgenannten beziehen. Bei der Umsetzung von Begrünungen in Schulen werden nämlich auch andere Ressourcen benötigt, die aber bisher noch unbekannt sind, da sie sich erst im Zuge der Umsetzung eines Projektes ergeben. Solche unbekannt Ressourcen sind z.B. Ressourcen an Zeit, oder Fachwissen der Schüler. Da strukturelle Rahmenbedingungen in der Literatur nicht vorkommen, werden sie in dieser Arbeit neu erforscht.

Im ersten Teil (Kapitel 2 und 3) wird eine Literaturrecherche angeführt, in der die wichtigsten Grundlagen zu Begrünungen erläutert werden. Dazu gehören einerseits die Vorteile von Begrünungen, Anforderungen an Pflanzen und (bau)rechtliche Rahmenbedingungen.

Im zweiten Teil (Kapitel 5 und 6) werden zur Bearbeitung der Forschungsfrage einerseits die strukturellen Rahmenbedingungen erarbeitet, andererseits eine Machbarkeitsanalyse erstellt und Umsetzungsszenarien erarbeitet. Um die strukturellen Rahmenbedingungen, die Machbarkeitsanalyse und die Umsetzungsszenarien zu eruieren, wird ein Fallbeispiel des Forschungsprojektes

„MehrGrüneSchulen“ analysiert. Aus dem Fallbeispiel wurden die Kernkompetenzen und Prozesse herausgefiltert und anschließend die Umsetzung der Prozesse für andere Schulen geprüft. Aus den daraus ersichtlichen Problemen und Hindernissen wurden Lösungen gefunden, die zur Konzeptionierung einer Umsetzung führen.

Darüber hinaus wurden im zweiten Teil die Lebenszykluskosten (siehe Kapitel 6.6) von Fassadenbegrünungen erarbeitet, die zwar nicht zur Beantwortung der Forschungsfrage herangezogen wurden, jedoch dem Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“ zur Verfügung gestellt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Prozesse beim Bau von Low-Cost-Begrünungen zu analysieren, um die Kriterien aufzuzeigen, die eine vermehrte Umsetzung an Schulen ermöglichen. Die Entwicklung eines Konzepts ist Teil der Arbeit. Es ist nicht Ziel, das Konzept zu prüfen und in die Realität umzusetzen.

Im nachfolgenden Kapitel 2 werden die Grundlagen von Begrünungen zusammengefasst. Dieses Kapitel dient dazu, Hintergrundinformationen über die Ursprünge von Begrünungen, ihre Auswirkungen und (bau)rechtlichen Aspekte zu schaffen.

2 Grundlagen

2.1 Entwicklung von Begrünungen

Begrünung ist ein Sammelbegriff für das zweckentsprechende Auswählen und Einsetzen von Pflanzen an oder neben Bauwerken und in Grünanlagen [15]. Bauwerksbegrünungen lassen sich in Außenraum- und Innenraumbegrünungen einteilen. Zu den Außenbegrünungen zählen Dach-, Fassaden- und Freiraumbegrünungen, zu den Innenraumbegrünungen jegliche Begrünungen in den Innenräumen von Gebäuden [16]. Ziel der Begrünung ist meist die optische Gestaltung von Flächen, oder die Schaffung von Grünanlagen. Dazu sind zumeist technische Maßnahmen wie beispielsweise Erdarbeiten oder der Einsatz geeigneter Rankhilfen notwendig. Um den geplanten Zustand zu erreichen, sind eine permanente Pflege und Bewässerung erforderlich.

Erste Formen der Außenraumbegrünung sind bereits seit dem 3. Jahrtausend v. Chr. im antiken Ägypten bekannt. Die Ägypter hielten Pflanzen in Behältern, die Griechen und Römer züchteten Lorbeerbäume in Keramikgefäßen. Auch in China wurden schon vor über 2500 Jahren Topfpflanzen bei Gartenausstellungen gezeigt, ob diese dann auch als Wohnraumpflanzen genutzt wurden, ist aber zweifelhaft [17]. Die älteste bekannte Gartenanlage überhaupt wurde auf dem Dra Abu el Naga Hügel in Luxor gefunden [18]. Die Forscher*innen gehen davon aus, dass diese Gartenanlage um 2000 v. Chr. entstand. Sie schmückte den Eingangsbereich einer ägyptischen Grabstätte und viele Gemälde an Grabstätten stellen die Gärten dar [19]. Daher ging man schon vor dem Fund der Gartenanlage von ihrer Existenz aus. Die Begrünung wurde auch oft für Nutzgärten verwendet [20], [21]. Auf die Antike zurück geht auch die „Urform“ der Fassadenbegrünung, nämlich der Bewuchs mit Efeu [22]–[25]. Bildliche Darstellungen aus dem Mittelalter zeigen, dass vor allem Rosen und Weinstöcke als Zierelemente verwendet wurden [26], [27]. Anfang des 16. Jahrhundert entwickelt sich an den königlichen und fürstlichen Höfen eine Leidenschaft für das Sammeln exotischer Pflanzen. Ab Mitte des 16. Jahrhunderts, entwickelte sich schrittweise die Innenraumbegrünung. Anfänglich wurden Arkaden mit Papier oder gewachstem Leinen bespannt, um empfindliche Pflanzen vor der Kälte im Winter zu schützen. Damit entstand der Vorgänger der

„Orangerie“¹. Die erste Orangerie selbst entstand im 17. Jhd. durch Ludwig XIV an einem Seitenflügel von Versailles. Als im 19. Jhd. im viktorianischen England Verbesserungen in den Baumaterialien Stahl und Gusseisen zu erkennen waren und dadurch Wintergärten und Gewächshäuser gebaut werden konnten, bildete dies den Grundstein für die Innenraumbegrünung, so wie wir sie heute kennen [20]. In den 1980er Jahren allerdings fand die Begrünung eine neue Bedeutung: Erstmals werden die Pflanzen nicht nur zum Gestalten verwendet, sondern auch zum Zwecke der Gesundheit und der Verbesserung des Klimas. Begrifflichkeiten wie „Sick-Building-Syndrom“ (kurz SBS, vom englischen *sick* = krank, *building* = Gebäude, zu Deutsch „Gebäudekrankheit“) und „Healthy-Building“ (vom englischen *healty* = gesund, *building* = Gebäude, zu Deutsch „gesundes Gebäude“) entstanden in dieser Zeit [20], [29]–[31]. Wissenschaftler beobachteten, dass Menschen, die längere Zeit in Büroräumen verbringen, sich während des Aufenthalts und auch abends, nachdem sie das Gebäude verlassen haben, krank fühlen. Obwohl die möglichen Ursachen für dieses Syndrom nicht belegt werden konnten, war es jedoch möglich nachzuweisen, dass Begrünungen das Außen- und Innenklima, sowie das subjektive Wohlempfinden der Menschen steigern [7], [20].

2.2 Auswirkungen von Begrünungen auf die Umwelt

2.2.1 Klimatische Aspekte

Bepflanzungen mit Bäumen, Fassaden- und Dachbegrünungen haben einen schattenspendenden Effekt und führen aufgrund der Verdunstung zu einer Reduktion der Lufttemperatur [32], [33]. Bei Grünflächen tritt ein Kühleffekt durch Verdunstung durch Transpiration der Pflanzen und durch Evaporation der Bodenfeuchte auf. Transpiration bedeutet, dass Wasser über die Blattöffnungen verdunstet. Unter Evaporation versteht man die Verdunstung von Boden- oder Wasseroberflächen. Durch den abgegebenen Wasserdampf bei der Verdunstung wird die Atmosphäre befeuchtet und dadurch das Klima beeinflusst [34]–[36]. Darüber hinaus binden Pflanzen für die Photosynthese CO₂ aus der Luft [37]. Besonders in den innerstädtischen Bereichen, die meist über bebaute

¹ „Orangerie“: „historisch repräsentativer Garten für Zitruspflanzen, im 17. und 18. Jahrhundert als Synonym für Sammlung von exotischen, nicht winterfesten Gewächsen“ [28].

Oberflächen verfügen und aus wärmeabsorbierenden Materialien bestehen, bilden sie aufgrund ihrer entsiegelnden Wirkung eine Maßnahme gegen urbane Hitzeinseln [22], [32], [33]. Gebiete, die vorwiegend natürliche Oberflächen aufweisen, besitzen feuchtigkeitsspeichernde Böden.

2.2.2 Lufthygienische Aspekte

Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass Begrünungen staubbindend wirken [11], [38], [39]. Schadstoffbelastungen führen bei Bepflanzungen in dicht besiedelten Städten zu einer Ansammlung von Schadstoffen in den Blättern. Durch Niederschläge gelangen diese in den Wurzelraum der Pflanze. Dank des Effekts der Luftfilterung können vertikale Begrünungen an Bauwerken (Fassadenbegrünungen) in Städten zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Eine Studie des Karlsruher Instituts für Technologie aus dem Jahr 2012 zeigt auf, dass Wandbegrünungen den Schadstoffgehalt in der Luft um 30% reduzieren [7].

2.2.3 Tierökologische Aspekte

Außenbegrünungen in Form von Fassaden- und Dachbegrünungen stellen einen Lebensraum für verschiedene Insekten- und Vogelarten dar. Vor allem für Grünfink, Amsel und Haussperling stellen derartige Begrünungen im innerstädtischen Bereich eine ungestörte Futterquelle dar. Auch Spinnen wie die Kräuselspinne sind aufgrund ihrer thermophilen und synathropen² Eigenschaften bei Grünfassaden anzutreffen [38], [41]. Darüber hinaus sorgt die Schaffung eines dichten Netzes an Kleinlebensräumen, z.B. die Verbindung vom Boden zur Fassadenbegrünung, für eine Brücke zwischen den verschiedenen Lebensräumen [42].

² „Synathropie“: von altgriechisch, bezeichnet die Anpassung einer Tier- oder Pflanzenart an den menschlichen Siedlungsbereich, so dass sie nicht auf Ergänzung ihrer Population von außen angewiesen ist. Das zugehörige Adjektiv heißt synathrop“ [40].

2.3 Auswirkung von Begrünungen auf Raumklima in Innenräumen und in Klassenzimmern (physikalische Vorteile)

Aus diversen Studien geht hervor, dass Begrünungen in Innenräumen zu einer Verbesserung des subjektiven Wohlbefindens führen, die schalltechnischen Eigenschaften der Räumlichkeiten verbessern, zu einer höheren Luftfeuchte führen und durch ihre Filterwirkung zu einer Reduktion der Luftschadstoffe beitragen [6], [7], [20], [43]. Tudiwer et al. (2018) untersuchten in Klassenzimmern mit Innenraumbegrünung u.a. die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur. Es stellte sich heraus, dass sich im Winter die Luftfeuchtigkeit erhöht und dies zu einer geringeren Trockenheit in den Innenräumen führt [43]. In Wohn- und Arbeitsräumen, sowie in Klassenzimmern gelten 40 bis 60% Luftfeuchtigkeit als ideal. Allein durch die Außenluft kann meist keine konstant bleibende Luftfeuchte gewährleistet werden, da es die verschiedenen Jahreszeiten und Temperaturschwankungen nicht erlauben. Speziell bei Neubauten ohne Lüftungsanlagen spielt Begrünung eine wichtige Rolle, da ein direkter Austausch zwischen Raum- und Umgebungsluft erschwert stattfinden kann [7].

Die höhere Luftfeuchtigkeit in Arbeitsräumen kann indes dazu beitragen, dass sich die Angestellten weniger oft krank melden [8]. Hollands et al. (2021) wies nach, dass die Kosten für Herstellung und Betrieb gewisser Innenbegrünungen kleiner sind als die Verluste durch die unproduktiven Fehltage der Angestellten. Auch in Klassenzimmern, wo im Winter oft eine „zu trockene“ Luft vorherrschen kann, tragen Bepflanzungen zu einer höheren hygrothermischen Behaglichkeit bei und können somit die Krankheitsanfälligkeit verringern [7], [44].

Fassadenbegrünungen sind in der Lage, einen Beitrag zur Lärminderung im Schulfreiraum zu leisten, da sie die Schallabsorption erhöhen [7]. Im Rahmen der Studie „HOSANNA“ fanden Forschende heraus, dass Fassadenbegrünungen hauptsächlich in mittleren und hohen Frequenzen eine Schallabsorption bewirken [13]. Köhler und Milbrandt (2012) untersuchten an der Hochschule Neubrandenburg die Schallminderungen verschiedener wandgebundener Fassadenbegrünungen und verglichen sie mit unbegrünter Fassade. Die Ergebnisse zeigen, dass die begrünten im Durchschnitt zu Lärminderungen von ca. 5 dB(A) führten [12].

2.3.1 Auswirkungen der Begrünungen auf Menschen, insbesondere Schüler (psychische Vorteile)

In der Umgebung von Pflanzen fühlt sich der Mensch behaglich und ausgeglichen. Lebendes Grün besitzt trägt zur Entspannung bei. Stressfaktoren wie hoher Blutdruck und Muskelanspannungen können durch den Kontakt mit Pflanzen deutlich verringert werden [45]. Die positive Wirkung der Pflanzen auf Menschen spiegelt sich auch in Schulen wider. Professor Dr. Tove Fjeld vom Norwegischen Institut für Gartenbau konnte bereits 1999 positive Wirkung einer Innenraumbegrünung auf Schüler*innen belegen [9], [10]. Dass ein Stück Natur in das Klassenzimmer gebracht wird, führt dazu, dass sich Schüler*innen von Stresssituationen besser erholen und ihre Aufmerksamkeit gesteigert wird [44], [46]–[49]. Kinder, die an Aufmerksamkeitsstörungen leiden, können durch den Kontakt mit der Natur oder Pflanzen wieder aufnahmefähiger und ruhiger werden [50]. Ein positiver Effekt auf die Aufmerksamkeit, das Wohlbefinden sowie die Bewertung der Vorlesung lässt sich laut einer Studie bereits nachweisen, wenn nur eine einzige Vorlesung in einem begrünten Klassenzimmer besucht wird [51]. Effekte von Begrünungen auf den Notendurchschnitt, konnten in einigen Studien teilweise nachgewiesen werden: McCormick (2017), Wells (2000) und Taylor et al. (2002) wiesen nach, dass grüne Infrastruktur die kognitive Entwicklung von Kindern positiv beeinflusst [49], [52], [53]. McCormick (2017) konnte auch Verbesserungen im Notendurchschnitt der Schüler*innen nachweisen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Aufmerksamkeit von mit Aufmerksamkeitsdefizitsyndrom (ADHS) diagnostizierten Kindern gesteigert wird. Wu et al. (2014) und Hodson und Sander (2017) wiesen in Ihren Studien einen höheren Notendurchschnitt der Schüler*innen in Mathematik, Englisch und Lesen nach [54], [55]. Wu et al. (2014) untersuchten dabei die Langzeiteffekte von Begrünungen über den Zeitraum von 2006 bis 2012 an 905 verschiedenen Schulen [54]. Norwood et al. (2020) untersuchten in einer Studie ebenso, wie sich der Unterricht in der Natur auf die Leistung und das Verhalten von Schüler auswirkt [56]. Dafür wurden zwei von drei Klassen in der Natur und anschließend in der Klasse unterrichtet und mit einer Kontrollklasse verglichen. Die Noten blieben gleich, doch das Verhalten der Schüler*innen und die Mitarbeit am Unterricht hatten sich verbessert.

Die Pflanzen sollten von den Schüler*innen möglichst in Eigenverantwortung und selbständig gepflegt werden. Die daraus entstandene Verantwortungsübertragung fördert die Schüler*innen daher in ihrer sozialen Weiterentwicklung und macht zusätzlich Platz für neue pädagogische Ansätze. Darüber hinaus regen Systeme, die in Eigenregie von den Schülern angeschafft oder gepflegt werden, das architektonische, technische und naturwissenschaftliche Denken an [47].

2.4 Begrünungssysteme

2.4.1 Innenraumbegrünungen

Grundsätzlich wird zwischen offenen und geschlossenen Bauweisen von Innenraumbegrünungen unterschieden. Bei offenen Bauweisen kann das überflüssige Gießwasser nach unten abrinnen, bei Geschlossenen staut es sich hingegen in einem Gefäß [57]. In der Abbildung 1 ist ein Beispiel für ein geschlossenes System zu sehen, im Vergleich dazu ein offenes System in Abbildung 2.

In weiterer Folge werden einige Begrünungssysteme aufgezeigt. Im Anhang B sind darüber hinaus die entwickelten „Low Cost“-Begrünungssysteme aus dem Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“ dargestellt.

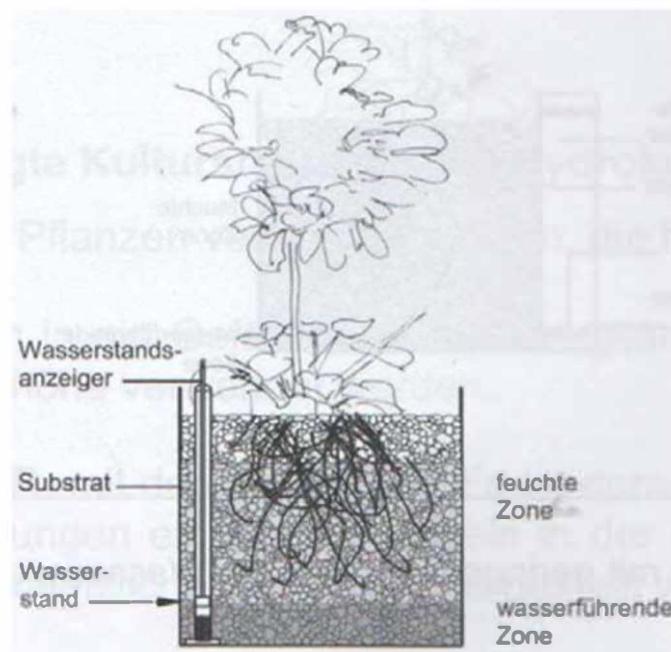


Abbildung 1: Geschlossenes Begrünungssystem

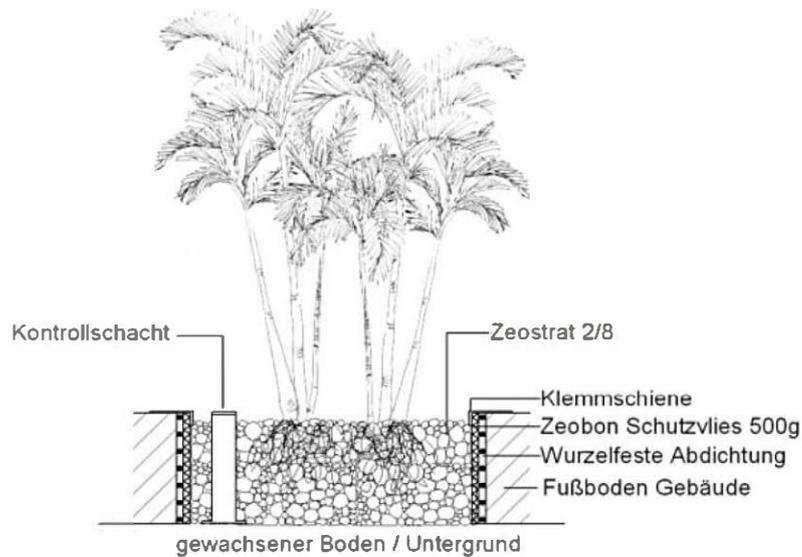


Abbildung 2: Offenes Begrünungssystem

Trogsystem

Dieses System ist für den Innen- und Außenbereich geeignet und kann sowohl in Form einer offenen und geschlossenen Bauweise ausgeführt werden, je nachdem, ob sich das Wasser anstaut oder abrinnen kann. Wie in Abbildung 3 dargestellt, besteht das Trogsystem aus mehreren, an die Unterkonstruktion

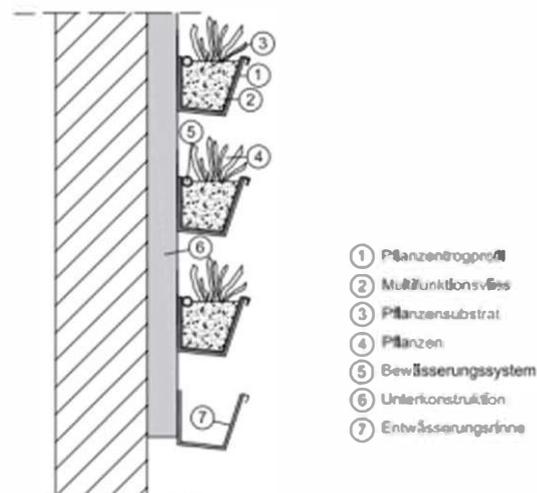


Abbildung 3: Trogsystem [56]

befestigten Trögen, welche an der Innenseite mit einem Multifunktionsvlies ausgekleidet sind und mit Substrat befüllt werden. In regelmäßigen Abständen wird eine Entwässerungsrinne vorgesehen. Diese Rinne und das in den Trögen befindliche Bewässerungssystem ermöglichen das Zirkulieren des Wassers.

Vliessystem

Das Vliessystem (siehe Abbildung 4) benötigt keine Erde. Die Befestigung an der Wand ermöglicht einen Abstand von mindestens 5cm zwischen Wand und Begrünungssystem. Dadurch wird eine ausreichende Luftzirkulation gegen Staunässe realisiert. Die Wurzeln der Pflanzen werden in die 3-lagigen Vliestaschen gelegt, welche regelmäßig befeuchtet werden und somit die Pflanzen mit Nährstoffen versorgen sollen. Aufgrund der substratlosen Ausführung besitzt dieses System eine sehr geringe Fähigkeit der Wasserspeicherung. Überschüssiges Wasser wird durch die Gravitation an dem Fußpunkt der Konstruktion, im Wasserauffangbecken gesammelt [58].

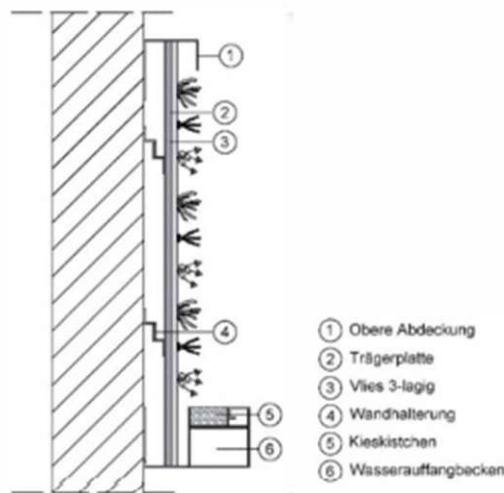


Abbildung 4: Vliessystem [56]

Ranksystem

Ranksysteme können, wie in der Abbildung 5 dargestellt, im freien Raum ausgebildet werden. Im Innenbereich wurzeln sie zumeist in einem Topf bzw. Trog. Das Ranksystem dient den Pflanzen als Kletterunterstützung. Diese Systeme können aus Holz, Edelstahl oder Stahl ausgeführt werden und sehr viele Formen annehmen. Von starren Stäben über flexible Seile bis hin zu Netzen ist alles möglich.



Abbildung 5: Ranksysteme [57]

Modulares System

Der Hauptgrund für die Einordnung als modulares System ist jener, dass es für Nutzer*innen ohne großen Aufwand möglich sein muss, die Begrünung in der Anordnung zu verändern. Ebenso kann dieses System jederzeit vergrößert und verkleinert werden. Häufig ähneln die Systeme einem Trogsystem, da Pflanzen in gleicher Weise bewässert und mit Nährstoffen versorgt werden. Es ist jedoch auch die Ausführung als Vliessystem möglich.

2.4.2 Freiraumbegrünungen

Begrünungen im Freiraum können entweder am Dach, an der Fassade oder aber auf Freiflächen realisiert werden. Die grundlegende Unterteilung in die geschlossene und offene Bauweise, wie im Kapitel 2.4.1 Innenraumbegrünungen beschrieben, trifft auch hier zu, mit dem Unterschied, dass auch bodengebundene Systeme ausgeführt werden können.

Dachbegrünungen

Bei Dachbegrünungen wird grundlegend zwischen der intensiven und extensiven Begrünung unterschieden [59]. Die Intensivbegrünungen sind in der Pflege sehr aufwändig und stellen höhere Anforderungen an den Schichtaufbau. Eine Mindeststärke von 20cm wird benötigt, um die intensive Dachbegrünung umsetzen zu können. Bei noch größeren Schichtstärken können sogar Bäume angelegt werden (siehe Abb. 5).



Abbildung 6: Dachgarten [59]

Die extensive Dachbegrünung besticht durch die niedrigen Ansprüche und Anforderungen an die Pflege. Das System erhält sich größtenteils selbst. Zusätzlich sind nur 8cm für die Schichtstärke notwendig. Im Umkehrschluss sind dann aber größere Bepflanzungsmaßnahmen gar nicht möglich (siehe Abb. 6).



Abbildung 7: Dachbegrünung extensiv [60]

Fassadenbegrünung

Bei Fassadenbegrünungen wird grundsätzlich zwischen boden- und fassadengebundenen Begrünungssystemen sowie Mischformen unterschieden. Bei den Mischformen handelt es sich um troggebundene Systeme, die sich z.B. vom Balkon aus ausbreiten und so einen möglichst großen Teil der Fassade erreichen [41].

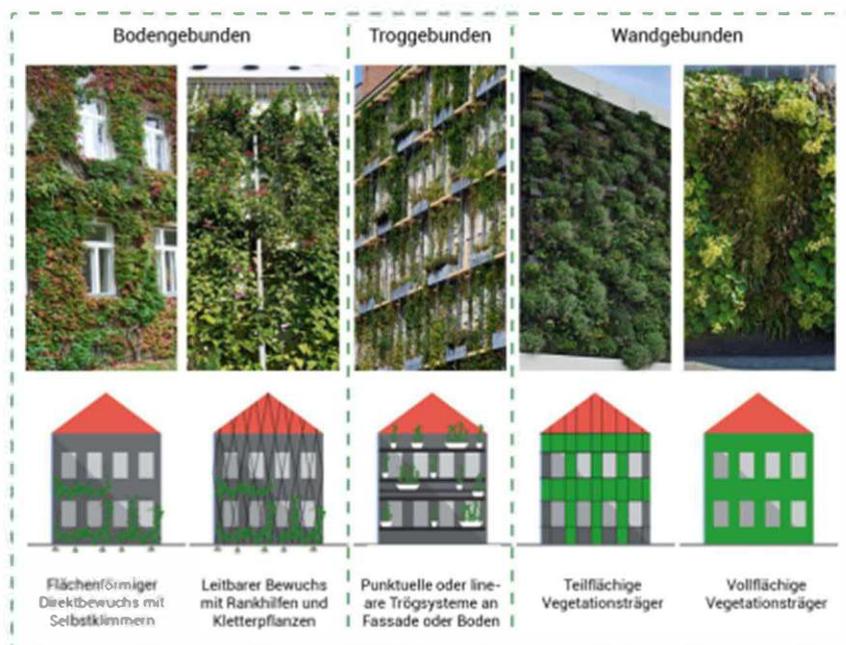


Abbildung 8: Einteilung der Fassadenbegrünungen [60]

In Abbildung 8 wird die Einteilung in boden-, trog- und wandgebundenen Systemen dargestellt.

Bodengebundene Fassadenbegrünungen werden durch das Wuchsverhalten der Pflanzen in Selbstklimmer und Gerüstkletterpflanzen unterteilt. Falls die Kletterpflanzen genügend Raum für die Wurzelbildung zur Verfügung haben und der Boden ein ausreichendes Wasserhaltevermögen aufweist, kann man nach einer gewissen Anzuchtzeit auf die manuelle Bewässerung vollends verzichten.

Bei fassadengebundenen Begrünungen werden Bepflanzungen, wie der Name schon verrät, direkt an die Fassade angebracht. Dies kann in Form von Pflanzentrögen (siehe Abbildung 2) oder auch Kassettensystemen (siehe Abbildung 9) geschehen.

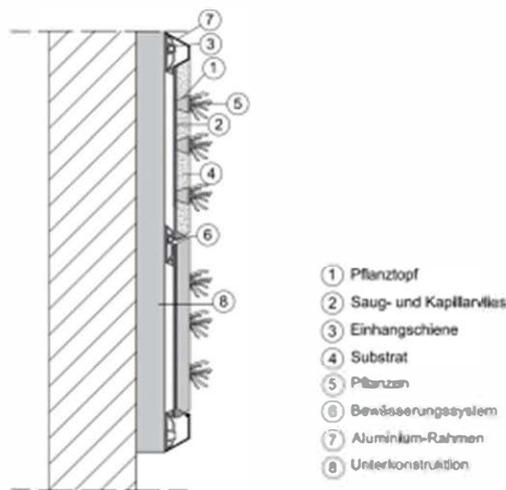


Abbildung 9: Kassettensystem [56]

Bei Kassettensystemen werden die Kassetten direkt aneinandergereiht, das integrierte Vlies sorgt ähnlich wie bei den Vliessystemen für eine Speicherung und Verteilung des Wassers. Die Einhängeschiene, welche an der Außenwand befestigt wird, ermöglicht durch ihre Form eine Hinterlüftungsschicht von ca. 5 cm Breite [58].

Begrünungen auf Freiflächen

Wenn es die räumlichen Möglichkeiten zulassen, bieten sich Begrünungsanlagen jeglicher Art an: Hochbeete, Pergolen oder Regalsysteme, um nur einige zu

nennen. Häufig erweisen sich solche Systeme als kostengünstiger und können zudem noch für das Ziehen von Genusspflanzen herangezogen werden. In der Abbildung 10 ist ein Beispiel für eine Pergola dargestellt.



Abbildung 10: Pergola [56]

2.5 Integration von Begrünungen im Schulraum

Die Vorteile von Begrünungen an Schulen sind weitläufig bekannt: Wie in den Kapiteln 2.3 und 2.3.1 beschrieben haben Begrünungsanlagen einen positiven Einfluss auf das Raumklima der Klassenzimmer und auf die psychische Verfassung der Schüler*innen. Im Freiraum können Begrünungen als Schattenspender oder zur Züchtung von Genusspflanzen dienen. Da Schüler*innen in der Umgebung von Pflanzen aufmerksamer sind und sich wohler fühlen, ist es naheliegend, die Schüler*innen als Ergänzung zum Klassenzimmer im begrünten Freiraum zu unterrichten [44], [46]–[49]. Dafür eignet sich z.B. eine Pergola (siehe Abbildung 10), die in eine Freiraumklasse umfunktioniert wird. Die Pflanzenlehre könnte dahingehend in den Unterricht eingebaut werden. Beispielsweise ist es möglich, Nutzpflanzen anzuschaffen und den Schüler*innen beizubringen, wie man die Pflanzen pflegt. Die Entwicklung und der Bau von Begrünungssystemen könnten ebenfalls im Werkunterricht eingebracht werden. Den Schüler*innen kann beigebracht werden, welcher Werkstoff sich für die Begrünungssysteme am besten eignet, oder wie man die Bauteile repariert bzw. austauscht. Es hat sich aus Vorprojekten gezeigt, dass die Schüler*innen eine gewisse Bindung zu den selbst gebauten Begrünungsanlagen aufbauen und anfallende Arbeiten (z.B. die Bewässerung)

wesentlich gewissenhafter durchführen, wenn sie beim Bau miteinbezogen wurden [47], [60]. Ebenso verringert die Mitarbeit den Vandalismus der Schüler*innen, da die Bindung zu den Begrünungssystemen steigt [60].

Begrünungen sind so in den Schulalltag zu integrieren, dass Probleme (z.B. Bewässerungsfehler, kaputte Bauteile) schnell erfasst und behoben werden können. Deshalb sollte eine regelmäßige Sichtkontrolle ermöglicht werden. Dafür eignen sich Begrünungselemente, die direkt in den Klassenzimmern angeordnet werden. Dadurch sind die Systeme auch vor Vandalismus geschützt. Für Pflege und Instandhaltung der Begrünungssysteme sind nicht nur die Schulzeiten, sondern auch die schulfreie Zeit in Betracht zu ziehen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass die Schüler*innen die Bewässerung auch während der Sommerferien erledigen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Bewässerung mithilfe des/der ohnehin anwesenden Schulwarts/Schulwartin umgesetzt werden kann.

Allerdings gibt es sogenannte „schulrechtliche Regelungen“, die bei der Umsetzung und Integration von Begrünungssystemen in den Schulunterricht zu beachten sind [61], [62]. Wird die Pflanzenpflege- bzw. lehre oder Werkstofflehre in den Unterricht eingebracht, muss dies mit dem Lehrplan übereinstimmen. In passenden Fächern wie Biologie, Physik und Chemie ließen sich Verknüpfungen des Unterrichtsstoffes zu den Begrünungsmaßnahmen herstellen. Ebenso sind Bau und Pflege von Begrünungssystemen in den Werkunterricht einzubringen. Dies ist ebenso mit den Lehrplänen der jeweiligen Schule [63] und den schulischen Gesetzen [64], wie z.B. dem Schulunterrichtsgesetz oder dem Schulorganisationsgesetz abzustimmen. Wiederkehrende, monotone Arbeiten, die normalerweise nicht im Lehrplan enthalten sind, sind aufgrund Abweichungen mit den Schulrechtsgesetz oft schwer umzusetzen und erfordern einer gesonderten Genehmigung [62]. Die Konformität mit den Gesetzen ist für jede Schule selbst zu prüfen.

Was die erforderlichen baurechtlichen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung sind und welche Möglichkeiten es zur Umsetzung gibt, wird in den Kapiteln 6.2 und 6.4 erläutert. Grundlegend sollten vor dem Bau einer Begrünungsanlage die systemabhängigen baurechtlichen Eigenschaften

überlegt und berücksichtigt werden. Die im Kapitel 3.2 angeführten Bedingungen sind nicht vollständig, geben jedoch einen Überblick über die bautechnischen Rahmenbedingungen, welche einzuhalten sind, um ein Begrünungssystem ohne (bau)rechtliche Bedenken in Schulen umsetzen zu können.

Bei der Wahl eines geeigneten Begrünungssystems ist insbesondere auch darauf zu achten, dass die Nutzbarkeit nicht die einer herkömmlichen Begrünungsanlage übersteigt, und falls doch, dann sollte dies mit allen rechtlichen Konsequenzen begutachtet werden. Falls die Begrünungsanlage beispielsweise gleichzeitig als Klettergerüst verwendet werden können soll, dann Bedarf es einer genauen Prüfung, ob alle rechtlichen Vorgaben der Verkehrssicherungspflicht bzw. der Regelwerke von Spielplätzen (z.B. Bauordnung, ÖNORM B2607, ÖNORM 1176-7) eingehalten werden können [65], [66]. In aller Regel ist dies mit Kosten (z.B. Zertifizierungen) verbunden, welche im normalen Schulkontext zumeist schwer umsetzbar sind.

Die Finanzierung ist meist das größte Hindernis bei der Errichtung von grüner Infrastruktur. Bei der Betrachtung der Kosten soll nicht nur auf die Herstellkosten geachtet werden, sondern auch eine nachhaltige Finanzierung sichergestellt werden. Das heißt, dass die Deckung der Kosten während der Nutzungsphase bis zum Abbruch der Begrünung sichergestellt werden soll.

Viele der in den Kapiteln 2.4.1 und 2.4.2 vorgestellten Begrünungssysteme sind im Schulkontext zumeist nicht finanzierbar. Deshalb wurden einige kostenreduzierte Innen- und Freiraumbegrünungen, sogenannte „Low-Cost-Begrünungen“ (LC-Begrünungen) entwickelt, die sich mit weniger Aufwand im Schulkontext realisieren lassen.

Die Entwürfe der LC-Begrünungen finden sich im Anhang B wieder. Die Kosten über den gesamten Lebenszyklus wurden für einige LC-Begrünungssysteme im Kapitel 3.3.1 und für Fassadenbegrünungen im Kapitel 6.6. ermittelt.

Im nächsten Kapitel, Kapitel 3 Rahmenbedingungen aus der Literatur, werden zu aller erst die bautechnischen Rahmenbedingungen von Begrünungssystemen zusammengefasst, anschließend die Lebenszykluskosten von LC-Begrünungen angeführt.

3 Rahmenbedingungen aus der Literatur

3.1 Vegetationstechnische Anforderungen an die Begrünungsanlage

Um die Kultivierung von Pflanzen erfolgreich umzusetzen, müssen die Begrünungssysteme sowohl im Innenraum als auch im Freiraum die Anforderungen der Pflanzen erfüllen. Sollte auch nur eine Anforderung der Pflanze nicht erfüllt sein, so schlägt sich dies auf das Wachstumsverhalten nieder [67]. In diesem Kapitel werden die Anforderungen grob umrissen und müssen im Einzelfall für die jeweilige Pflanze im Detail betrachtet werden. Um sich trotzdem einer größeren Auswahl an Pflanzen im Raum bedienen zu können, gibt es für jede Pflanze einen Toleranzbereich, sodass beim Standort der Grünanlage nicht alle Anforderungen exakt zutreffen müssen [67].

3.1.1 Klima

Da Pflanzen je nach Herkunft unterschiedliche klimatische Bedingungen gewöhnt sind, gilt es auch dies zu beachten: sie sind beim Entwurf der Begrünungsanlage zu berücksichtigen. Pflanzen tropischer Herkunft benötigen ein sehr gleichmäßiges Klima im Vergleich zu den Pflanzen mediterraner Herkunft, die in den Wintermonaten niedrige Temperaturen bevorzugen [67]. Entscheidend zur Erreichung der notwendigen klimatischen Bedingungen sind Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Luftzirkulation. Für den Freiraum kann das bedeuten, dass gewisse Pflanzen in unseren Klimaten nicht anwendbar sind. Im Innenbereich können durch den Einsatz von Technologie die nötigen Rahmenbedingungen erreicht werden. Die Lufttemperatur kann beispielsweise durch ein Heizgerät reguliert werden, die Luftzirkulation mit Ventilatoren und die Luftfeuchtigkeit mittels Verdampfer oder Verdunster.

3.1.2 Licht

Licht ist essenziell für die Photosynthese. Der Erfolg des Pflanzenwachstums entscheidet sich durch die Belichtungsdauer, die Intensität und die spektrale Zusammensetzung. Diese Parameter sind je nach Jahreszeit und Region sehr unterschiedlich [68], [69].

Die maximale Lichtabsorption gelingt in den Wellenbereichen zwischen 400 und 500 nm und zwischen 600 und 700nm. Aber auch Wellenbereiche unter 400 nm und über 720 nm sind wichtig für die Entwicklung der Pflanze.

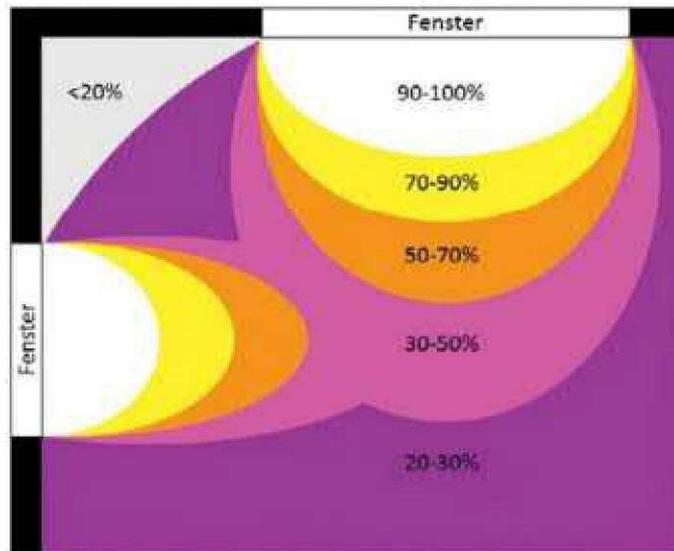


Abbildung 11: Lichtintensität in Zusammenhang mit dem Fensterabstand [62]

Sind die Lichtspektren geeignet für die Pflanzen, muss auch die Lichtintensität und Belichtungsdauer betrachtet werden. Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, entscheidet der Abstand vom Fenster über die Intensität des Lichts. Hierbei muss man gegebenenfalls den Standort der Begrünung überdenken, oder mit zusätzlichen Lichtquellen arbeiten. Es muss darauf geachtet werden, dass die Pflanzen nicht zu viel und nicht zu wenig bestrahlt werden. Lichtmangel führt zu erhöhter Krankheitsanfälligkeit der Pflanzen und zu starke Belichtung zum „Verbrennen“ der Blätter. Auch die Einstrahlungsdauer (Tag-/Nachtlänge) ist relevant für die Pflanzenkultivierung [68].

3.1.3 Bodenfeuchte

Der Wasserbedarf variiert sehr je nach Pflanze. Es gibt jene Pflanzen, die eine sehr hohe Bodenfeuchte gewohnt sind und auch benötigen, oder auch solche Pflanzen, die aus Wüstenregionen stammen und somit nicht nur trockene Böden bevorzugen, sondern auch bei einer Überwässerung eingehen würden. Tendenziell leiden Pflanzen, die manuell bewässert werden, eher an Überwässerung. Die Wurzeln leiden dabei an Sauerstoffmangel und sterben ab. Außerdem ist insbesondere bei Hydrokulturen auf die Wasserqualität zu achten [68].

3.1.4 Nährstoffversorgung

Bei Begrünungsanlagen im Schulraum ist, im Gegensatz zur landschaftlichen Produktion, die auf Wachstum getrimmt ist, nur die Erhaltungsdüngung erforderlich, dafür aber in regelmäßigen Abständen [67]. Dies kann mittels Flüssigdünger, Salzdünger oder auch als Langzeitdünger durchgeführt werden. Substrate mit organischer Substanz sind einfacher zu handhaben, da wesentliche Nährstoffe und Spurenelemente zumeist schon im Substrat auffindbar sind (Pufferwirkung) und sowohl eine kurzweilige Über- und Unterdüngung durch das Substrat ausgeglichen werden können. Bei Substraten ohne organische Substanz, wie bei Hydrokulturen, gibt es diese so genannte Pufferwirkung nicht. Hauptnährstoffe sind Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium. Essenzielle Spurenelemente sind unter anderem Kupfer, Zink, Bor, Mangan, Eisen und Selen [42].

3.1.5 Substrat

Unter einem Substrat versteht man im Gartenbau „*einen Nährboden aller Art, einschließlich des gewachsenen Bodens, der durch seinen jeweiligen Bodentyp gekennzeichnet ist*“ [70]. Darin und darauf befinden sich verschiedene Organismen. Grundsätzlich kann man zwischen organischen und mineralischen Substraten unterscheiden. Es werden aber auch Mischformen verwendet, welche sowohl mineralischen als auch organischen Ursprungs sind. Die Aufgaben, die das Substrat für die Pflanzenzucht übernimmt, sind vielfältig. Die Wasser-, Sauerstoff und Nährstoffversorgung und der Halt der Pflanzen gehören zu den Kernaufgaben des Substrates [68].

Organische Substrate

Organische Substrate werden in Schulbauten selten eingesetzt, da die Besiedelung mit Keimen und Bakterien wahrscheinlich ist. In Krankenhäusern ist die Verwendung genau aus demselben Grund österreichweit untersagt.

Grundsätzlich versteht man unter organischen Substraten Hochmoortorf oder Torfersatzstoffe, wie z.B. Kokosfasern, Rindenkompost, Ton und Holzfasern. Im Allgemeinen fallen organische Substrate mit einem hohen Puffervermögen für Nährstoffe, der Regulierung des pH-Wertes und einer guten Sorptionskapazität

für Kationen positiv auf. Eine negative Eigenschaft ist die oben bereits erwähnte Anfälligkeit für Keime und Bakterien. Eine weitere negative Eigenschaft kann die Gefahr einer irreversiblen Austrocknung sein, ausgelöst durch einen Wassermangel. Da es sich bei diesen Substraten um organische Substanzen handelt, kann ihr Abbau nur schwer kontrolliert werden und so unter Umständen zu starken Setzungsverhalten führen [68].

Mineralische Substrate

Mineralische Substrate wie Lava, Bims, Blähton, Blähschiefer usw. erfüllen zwar die physikalischen Eigenschaften eines natürlichen Bodens (Stabilität, Wasser, und Lufthaushalt), jedoch fehlt die Pufferwirkung. Dies führt zwar dazu, dass der Nährstoffhaushalt gezielt reguliert werden kann, jedoch steigt auch die Wahrscheinlichkeit einer unsachgemäßen Düngung, die der Pflanze sehr schnell schaden kann [68].

3.2 Bautechnische Rahmenbedingungen

Die bautechnischen Rahmenbedingungen variieren sehr stark je nach Art des Begrünungssystems. So ist z.B. für kleinere Innenraumbegrünungen nur auf die Einhaltung der Fluchtwege und die Reduzierung der Brandlast zu achten. Begrünungen größeren Ausmaßes und mit Eingriff in die Tragstruktur des Schulgebäudes sind im Vergleich dazu mit wesentlich größeren regulatorischen Auflagen belegt. In diesem Kapitel wird ein Überblick auf die bautechnischen Rahmenbedingungen vermittelt. Da die Vorhaben jedoch sehr unterschiedlich sein können, ist dieser Überblick nicht gesamtheitlich möglich.

3.2.1 Brandschutz

Gerade bei Fassadenbegrünungen ist auf schwer entflammables Baumaterial zu achten. Hinterlüftete Fassadenbegrünungen sind in diesem Punkt am gefährdetsten. Durch die Hinterlüftung kann sich eine Art Kaminwirkung ausbilden, welche den Brand beschleunigt und so das Feuer verbreitet, weshalb die Verwendung von geschossweisen Brandsperren als mindestens 20cm vor die Begrünung ragende Edelstahlbleche verpflichtend ist [22]. Zudem ist auch die Gebäudeklasse lt. OIB-Richtlinie [71] relevant. Ab der Gebäudeklasse 4 darf die

vorgehängte Fassade nur so ausgeführt werden, dass eine Brandübertragung über drei Geschosse hinweg möglichst ausgeschlossen werden kann, und das Herabfallen von großen Fassadeteilen möglichst eingeschränkt wird [72].

Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 Metern ist die Fassadenbegrünung grundsätzlich untersagt. Falls das Fluchtniveau unter 32 Meter beträgt und die zu begrünende Fassade öffnungslos ausgeführt wird, somit also eine Brandübertragung ausgeschlossen werden kann, dürfen Begrünungssysteme mit Materialien der Klassifizierung A2 (nicht brennbar), ausgeführt werden, aber dennoch gewisse Anteile an brennbaren Bestandteilen enthalten [73].

Bei Innenraumbegrünungen gibt es grundsätzlich keine speziellen Anforderungen. Lediglich die Aufrechterhaltung der Fluchtwege muss gewährleistet sein. Diese sind in der OIB-Richtlinien 2 geregelt. Grundsätzlich werden Schulgebäude in Bezug auf die Planung der Fluchtwege gleich behandelt wie Bürogebäude. Speziell bei Schulen und Kindergärten darf der zweite Fluchtweg nicht durch einen Rettungsweg gemäß Punkt 5.2 der OIB-Richtlinie 2 ersetzt werden [74]. Ein einzelner Fluchtweg über ein Treppenhaus darf nur unter definierten Voraussetzungen zur Ausführung gelangen, da im Gefahrenfall eine große Anzahl an Personen in Sicherheit gebracht werden muss. Lediglich bei kleineren Schulen und Kindergärten darf auf den zweiten Fluchtweg verzichtet werden, sofern sichergestellt wird, dass der weitest mögliche Fluchtweg ins Freie mit maximal 40 m Entfernung begrenzt ist [74].

Darüber hinaus dürfen keine leicht entflammaren Materialien im Fluchtweg vorhanden sein und es ist auf eine möglichst geringe Brandlast zu achten. Die verwendeten Baumaterialien müssen den Brandschutzbestimmungen, die in der ÖNORM EN 13501 – Anforderungen auf Brandverhalten von Bauprodukten und Baustoffen geregelt sind, entsprechen [75].

3.2.2 Statische Auflagen

Da die Begrünungsanlage zumeist nachträglich in das Gebäude integriert wird, sollte auf die Gewährleistung der Tragfähigkeit geachtet werden. Laut nationalem Anhang der ÖNORM B 1991-1 8.2.1.2 Tabelle 2 sind die verwendeten Nutzlasten zur Dimensionierung der Bauteile des Schulgebäudes in der Kategorie C1, C3.1 und C3.2 zu finden, je nachdem ob es sich um Unterrichtsräume oder um Räume

mit einer hohen Personenfrequenz, wie z.B. Eingangsbereiche, handelt, werden Lasten von 3-5 kN/m² herangezogen. Dies entspricht in etwa 300-500kg. Sollte das Gewicht der Begrünung inklusive der maximal aufnehmbaren Wasserlast pro Quadratmeter höher sein, so muss das Vorhaben unbedingt mit einem Statiker abgesprochen werden. Bei einer Montage an die Decke muss gewährleistet werden, dass die verwendeten Dübel dem Gewicht der Begrünung standhalten. Bei Fassadenbegrünungen ist ohnehin immer eine statische Prüfung erforderlich [76].

3.2.3 Bewässerungssystem (Wasseranschluss)

Es gibt mehrere Möglichkeiten an Schulen, die Wasserversorgung der verschiedenen Begrünungssysteme zu organisieren. Falls der Zugang zu einer Zu- und Abflussleitung möglich ist, kann dieser gerade bei größeren Vorhaben wie dem einer Fassadenbegrünung herangezogen werden. Durch ein automatisch gesteuertes Magnetventil kann der Wasserzufluss reguliert werden. Das überschüssige Wasser rinnt im Abfluss ab. Falls nur eine Zu- aber keine Abflussleitung verwendbar ist, so kann die Zuleitung automatisiert einen vorgesehenen Wassertank befüllen, der wiederum durch eine Pumpe die Pflanzen im System mit Wasser versorgt. Dabei werden im Tank zwei Sensoren angebracht, die dem System die Unter- und Überschreitung des Tankfüllstandes anzeigen [72]. Bei der dritten Variante besitzt die Bewässerung keine Zu- oder Abwasserleitung. Hierbei bedarf es einer Pumpe zur Sicherstellung der Wasserzirkulation im System und eines Wassertanks, der wie bei der zweiten Variante das zirkulierende Wasser immer wieder auffängt. Dieses System ist nicht autonom und muss immer wieder manuell mit Wasser befüllt werden.

Diese drei Varianten sind ohnehin nur für größere Begrünungsanlagen relevant. Natürlich genügt es, gerade bei kleineren Systemen wie denen der Low-Cost-Begrünungen, die Anlagen händisch zu bewässern. Diese Aufgabe kann im Schulkontext beispielsweise von den Schüler*innen übernommen werden, wobei auch eine Lösung für die Sommer- und Winterferien zu finden [72].

3.2.4 Stromanschluss

Nicht nur die Bewässerungssysteme, sondern auch etwaige Lampeninstallationen benötigen Strom, um zu funktionieren. Somit ist dies für die Umsetzbarkeit einer Begrünungsanlage mit solchen Anforderungen eine Grundvoraussetzung. Bei Topfpflanzen, die nahe am Fenster positioniert und regelmäßig von den Schüler*innen gegossen werden, ist dieser Punkt wiederum irrelevant [72].

3.2.5 Erreichbarkeit

Eine gute Erreichbarkeit der Begrünungsanlage kann dazu beitragen, dass die Pflege- und Wartungskosten optimiert werden, sowie die Schüler*innen den größten persönlichen Nutzen an der Begrünung haben. Eine Fassadenbegrünung, die aus ästhetischen Gründen nur am oberen Ende der Hauswand und somit unerreichbar für Schüler*innen ist, führt dazu, dass es bei der Grünpflege eines teureren Hubsteigers bedarf und die Grünpflanzen aus dem direkten Sichtfeld der Schüler*innen verschwinden. Dies erhöht die Pflegekosten und mindert die Naturerfahrung der Schüler*innen. Auch für nötige Reparaturarbeiten an den relevanten Steuerelementen ist es wichtig, diese leicht erreichbar und möglichst barrierefrei zugänglich zu machen [72].

3.2.6 Behördliche Hürden

Die erforderlichen Genehmigungen variieren je nach Begrünungssystem und Ausmaß. Bei Innenraumbegrünungen ist es wichtig, wie schon im Punkt 3.2.1 erwähnt, die nötigen Brandschutzauflagen einzuhalten. Sollte man also in keinem denkmalgeschützten Bereich die Begrünungen errichten wollen und diese nicht sehr groß ausfallen, was eine Bauanzeige benötigen würde, dann kann ohne weiteren Genehmigungsschritt die Begrünung umgesetzt werden.

Viel komplexer gestaltet sich ein Vorhaben, bei straßenseitigen fassadengebundenen Begrünungen. Die Stadt Wien stellt dazu eine Auflistung der notwendigen Genehmigungen online abrufbar bereit [22]. Beispielsweise ist abzuklären, ob eine Baubewilligung für das Rankgerüst erforderlich ist, oder ob das Vorhaben mit den unterirdischen Leitungen vereinbar ist. Falls keine Baubewilligung nötig ist, muss um eine Bewilligung nach Straßenverkehrsordnung aufgrund der Benutzung von Straßen zu verkehrsfremden Zwecken angesucht werden.

Außerdem wird das Einverständnis des Eigentümers/der Eigentümerin der Verkehrsfläche benötigt.

3.3 Finanzielle Aspekte der Begrünungen

Der Versuch, eine Begrünung in Schulen umzusetzen, scheitert häufig an einem Finanzierungsproblem. Wiewohl kleinere Begrünungssysteme (Topfpflanzen) relativ leicht finanzierbar sind, erweisen sich größere Vorhaben, wie z.B. fassadengebundene Begrünungsanlagen, zumeist als schwer realisierbar. Um kostengünstigere Begrünungssysteme zu schaffen, entwickelten die Schüler*innen des CSBT und der HBLFA im Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“ sogenannte „Do-It-Yourself“- bzw. „Low-Cost-Begrünungen“ [14]. Im Unterpunkt 4.3.1. werden die Kosten über den gesamten Lebenszyklus (Lebenszykluskosten) von „Low-Cost-Begrünungen“ dargestellt. Diese beinhalten die Planung, Errichtung, Nutzungsphase und den Rückbau. Durch die Betrachtung der Lebenszykluskosten können Entscheidungsträger abschätzen, ob ein Begrünungssystem für sie leistbar ist oder nicht.

3.3.1 Lebenszykluskosten von Low-Cost-Begrünungssysteme

Die in der Tabelle 1 dargestellten Begrünungssysteme stammen aus der Arbeit der Schüler*innen der CSBT und der HBLFA. Diese Systeme wurden anhand der von den Schüler*innen erhobenen Daten, sowie anhand der in einem Interview mit dem Projektbeteiligten R. Dopheide und T. Renner gewonnenen Ergänzungen bezüglich ihrer Lebenskosten dargestellt [77]. Dabei erfolgt jeweils eine Unterscheidung in Kostenaufwand für Pflege und Instandhaltung und in eigenständiger physischer Arbeit der Schule (MIN) oder in Beauftragung externer Firmen (MAX). Die Lebenszykluskosten der einzelnen Phasen wurden mit der Barwertmethode (siehe Kapitel 4.5) errechnet. Die Berechnung beruht auf einem Kalkulationszinssatz von 2,95%. Die einzelnen Systeme sind im Anhang B dargestellt.

Tabelle 1: Lebenszykluskosten "Low - Cost" Begrünungen, Preisbasis 2021

System- beschreibung	Errichtung ¹⁾	Pflege, Instandhaltung & Wartung ⁴⁾		Rückbau	LZK ⁴⁾	
		MIN ²⁾	MAX ³⁾		MIN ²⁾	MAX ³⁾
Green Domino	400 €	467 €	4 697 €	263 €	1 130 €	5 361 €
Green Cloud	570 €	556 €	2 078 €	351 €	1 477 €	13 000 €
Mobile Trennwand	560 €	1 400 €	15 062 €	263 €	2 223 €	15 886 €
Modulare Wand	325 €	434 €	11 633 €	351 €	1 110 €	12 309 €
Green Classroom	1 360 €	1 692 €	17 072 €	878 €	3 930 €	19 310 €
Green Trio	1 970 €	1 698 €	8 020 €	790 €	4 458 €	10 780 €
T-Bench	960 €	799 €	7 642 €	966 €	2 724 €	9 568 €
The Vessel	1 050 €	803 €	4 685 €	439 €	2 291 €	6 174 €
Begrüner Brunnen	940 €	1 139 €	9 724 €	702 €	2 781 €	11 367 €
Place Evergreen Relax	2 330 €	1 319 €	17 445 €	1 317 €	4 966 €	21 092 €
Place Evergreen Spielplatz	3 100 €	1 431 €	18 602 €	1 317 €	5 848 €	23 019 €

1) Errichtungskosten inkl. Substrat, inkl. Pflanzen

2) MIN: Pflege und Instandhaltung wird durch die Schule übernommen

3) MAX: für Pflege und Instandhaltung werden externe Firmen beauftragt

4) bezogen auf eine Nutzungsdauer von 15 Jahren

3.3.2 Kompetenzen im Schulbereich

In Österreich sind die Kompetenzen im Schulbereich auf Bund und Länder aufgeteilt. Allein bei allgemeinbildenden-, berufsbildenden mittleren und höheren Schulen (allgemeinbildende höhere Schule, Berufsbildende mittlere und höhere Schule) obliegt dem Bund sowohl die Aufgabe der Gesetzgebung als auch der Vollziehung. Bei den Pflichtschulen (Volksschule, Mittelschule, Sonder-, Berufs & Polytechnische Schule) gibt der Bund die Grundsatzgesetzgebung vor, die Länder führen diese jedoch aus und vollziehen sie. Weitere Zuständigkeiten sind unten in der Abbildung 12 dargestellt. Das Bundesministerium ist verantwortlich

für die Ressourcenzuteilung, welche dann von der Bildungsdirektion abgewickelt wird. Die Höhe richtet sich nach gesetzlich geregelten Kriterien. Privatschulen fallen lt. Bundesrecht für Privatschulgesetz in Gesetzgebung und Vollziehung in die Verantwortung des Bundes [78].



Abbildung 12: Zuständigkeiten im Schulbereich [65]

Es folgt nun das Kapitel 4 „Methodik“. Darin wird die Vorgangsweise für die Eruierung der strukturellen Rahmenbedingungen und der Umsetzungsszenarien für den Erhalt von Begrünungen an Schulen beschrieben. Darüber hinaus ist die Methode der Berechnung der Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen enthalten.

4 Methodik

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, strukturelle Rahmenbedingungen, die für Begrünungsmaßnahmen im Schulraum relevant sind, zu erfassen. Darunter versteht man Rahmenbedingungen, welche neben den finanziellen Voraussetzungen und bautechnischen Aspekten, schulintern gegeben sein sollten, um eine Begrünungsmaßnahme durchführen zu können. Darüber hinaus werden Hypothesen herausgearbeitet, die unter Einhaltung dieser erforschten strukturellen Rahmenbedingungen fiktive Umsetzungsszenarien abbilden.

Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgt zunächst eine Fallstudie eines im Rahmen des Forschungsprojektes „MehrGrüneSchulen“ durchgeführten „Schulprojektes“. Dieses Schulprojekt umfasst die Entwicklung und den Bau sogenannter „Low-Cost-Begrünungen“, durchgeführt durch je einer Klasse einer bautechnischen Schule und einer Gartenbauschule. Aus dieser Fallstudie werden Prozesse analysiert sowie Rahmenbedingungen und Kernerkenntnisse herausgefiltert.

Im zweiten Schritt werden Umsetzungsszenarien für Begrünungsmaßnahmen im Schulraum entwickelt, welche die zuvor erfassten Rahmenbedingungen berücksichtigen.

Im Anschluss werden die Lebenszykluskosten für fassadengebundene Begrünungssysteme ermittelt. Diese werden in den nachfolgenden Umsetzungsszenarien nicht weiterverfolgt, jedoch dem Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“ zur Verfügung gestellt.

In den folgenden Unterkapiteln werden die drei Teilschritte der Arbeit und die Vorgehensweise genauer erklärt, um eine bessere Nachvollziehbarkeit zu ermöglichen.

4.1 Fallstudie „Schulprojekt“

Eine Fallstudie ist nach Yin (2003) ein Forschungsansatz, um zeitgenössische Phänomene qualitativ und empirisch zu erfassen [79]. Demnach folgt das Forschungsdesign einer vorgegebenen Logik. Es gibt auch andere Meinungen zur Einordnung von Fallstudien im Kontext wissenschaftlicher Forschungsmethoden. Nach Stake (1995) beispielweise sei theorieles vorzugehen und quantitative Erhebungen innerhalb einer Fallstudie werden nicht

explizit in Erwägung gezogen [80]. In der betriebswirtschaftlichen Forschung und der Sozialforschung wird der Ansatz nach Yin zumeist favorisiert. Fallstudien werden häufig für neue und komplexe Forschungsfelder eingesetzt, um ein besseres Lagebild zu erarbeiten [81]. Sie können in einem weiten Spektrum eingesetzt werden, um Theorien zu testen, oder Theorien weiterzuentwickeln [82]. Sie ermöglichen Antworten auf explorative, deskriptive und/oder explanative Fragestellungen.

In dieser Arbeit wird eine Einzelfallstudie nach Yin durchgeführt, welche das Ziel verfolgt, eine möglichst ganzheitliche Analyse eines konkreten Ereignisses zu erbringen. Das Ereignis ist dabei ein Schulprojekt innerhalb eines Forschungsprojektes. Im ersten Schritt werden alle vom Forschungsteam bereitgestellten Unterlagen gesichtet, um nachvollziehen zu können, welche Prozesse im Verlauf des Schulprojekts durchgeführt wurden. Diese aus den Unterlagen stammenden Informationen werden dann im Anschluss in diversen Interviews hinterfragt und auf ihre informationelle Richtigkeit geprüft.

4.2 Interview-Leitfaden

Die Interviews wurden entweder telefonisch oder über Videogespräche geführt. Die Dauer liegt zwischen zehn Minuten und einer Stunde. Befragt wurden Personen, welche im Schulprojekt beteiligt waren. In diesem Fall waren das zwei Klassenlehrer der bautechnischen und die Klassenlehrerin der Gartenbauschule. Um ein möglichst breites Spektrum an Informationen sammeln zu können, wurde außerdem eine Klassenlehrerin des Bautechnikums über ein vorgegangenes Forschungsprojekt befragt.

Der Fragestil wurde sehr offen gewählt, um auch auf Erkenntnisse gelangen zu können, welche dem Fragesteller nicht bekannt sind. Die Kernfragen sind dabei folgende drei Fragen:

- „Wie war der genaue Ablauf des Schulprojekts?“
- „Was waren die Herausforderungen?“
- „Wie könnte man, ihrer Meinung nach, Low-Cost Begrünungen in anderen Schulen realisieren?“

Methodik

Das Videogespräch wurde mittels vereinfachter Methode transkribiert. Dabei wurde nur das tatsächlich gesprochene Wort verschriftlicht. Die Telefongespräche wurden in einem Gedächtnisprotokoll zusammengefasst.

4.3 Datenanalyse

Für die Kontextualisierung der gesammelten Informationen, wurde im ersten Schritt der stattgefundene Workshop zeittechnisch und inhaltlich erfasst. Aus den Informationen der Interviews und den zeitlich definierten Ereignisknotenpunkten werden kleinteilige „Input-Output“-Schaubilder übertragen. Aus diesen kleinteiligen Prozessschritten werden die wichtigsten erkannt und wiederum in ein weiteres Schaubild für den Gesamtprozess elizitiert. Aus den Interviews gingen die Phänomene, die bei der Anschaffung von LC-Begrünungen in Schulen entstehen, hervor. Diese wurden in einer Tabelle dargestellt (siehe Tabelle 9).

4.4 Umsetzungsszenarien

Zu den Phänomenen bzw. Problemen, die sich durch die Datenanalyse bzw. aus den Experteninterviews ergaben, wurden nun Lösungen gefunden (siehe Tabelle 9). Anschließend wurde nun nach einem Weg gesucht, der es ermöglicht, Begrünungen auf einem derartigen Weg zu erhalten, sodass sowohl diese Problemlösungen als auch die strukturellen Rahmenbedingungen als enthalten sind. Zur Ideenfindung wurde die Kreativitätstechnik „Mindmapping“ (*englisch mind map, auch Gedächtnis(land)karte*) herangezogen [83]. Bei dieser Technik wird das Kernthema in die Mitte eines Blattes geschrieben und alle Wörter, die einem dazu einfallen (=Schlüsselwörter) auf dem Blatt aufgeschrieben und durch Linien mit dem Kernthema verbunden. Aus dieser Darstellung lassen sich anschließend Ideen ableiten. Durch die Anwendung des Mindmapping mit der Kernfrage „Wie kann man Begrünungen in Schulen umsetzen, sodass Ressourcen wie Materialien, Geldmittel, Zeit und Wissen auf ein Minimum gebracht wird?“ ergab sich, dass die Nutzung einer „Vernetzungsplattform“ dazu in der Lage wäre, so viele Rahmenbedingungen wie möglich abzudecken. Beim theoretischen Durchspielen der möglichen Prozesse, die aufgrund der Nutzung der Vernetzungsplattform durch die Stakeholder auftraten, bildeten sich drei fiktive Hauptprozesse (Umsetzungsszenarien, siehe Kapitel 6.4) heraus.

4.5 Ermittlung der Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen

In der ÖNORM B 1801-2 werden unter Lebenszykluskosten (LZK) die Errichtungs- und Folgekosten verstanden. Unter den Errichtungskosten wird die Summe der Kosten bis zum Ende der Bautätigkeit verstanden und unter den Folgekosten werden jene Kosten verstanden, welche nach dem Zeitpunkt der Errichtung bis zum Zeitpunkt des Abbruchs des Baukörpers anfallen, verstanden. Darunter fallen Betrieb, Reinigung, Wartung, Instandhaltung bzw. Abbruch und Rückbau.

Die LZK werden mittels Barwertmethode berechnet. Das bedeutet, dass Zahlungen, die in Zukunft anfallen, auf ihren Barwert abgezinst werden. Dieser Barwert entspricht dem monetären Wert, die die zukünftigen Zahlungen zum Referenzzeitpunkt (Fertigstellung des Bauwerks) haben. Die Formel (1) stellt diese Abzinsung auf den Zeitpunkt t_0 dar.

$$K_0 = \sum_{t=0}^T \frac{Z_t}{(1 + i^*)^t} \quad (1)$$

$K_0(i^*)$	Kapitalwert bezogen auf den Zeitpunkt $t=0$
Z_t	Zahlung in Periode t
T	Betrachtungszeitraum
i^*	Kalkulationszinssatz

Einen sehr großen Einfluss auf den Barwert haben sowohl der Kalkulationszinssatz als auch die in ihm berücksichtigten zwei Faktoren der prozentualen Preissteigerung und des erwarteten Kapitalzinssatzes. Folgende Zinssätze werden laut Kovacic (2020) für die Berechnung der LZK vorgegeben [84]:

Preissteigerung:	2%
Kapitalzins:	5,5%

Für diese Arbeit werden diese beiden Zinssätze nach gegebenen Anforderungen adaptiert. Für die Preissteigerung wird ein Zinssatz von 2,8%, entsprechend der Inflationsrate für 2021, gemäß Österreichischer Nationalbank (OeNB), gewählt [85]. Der Kapitalzinssatz wurde in Anlehnung an vorangegangenen Diplomarbeiten mit -0,62% definiert [86]. Dieser Wert stammt ebenso von der OeNB ab und stellt den Basiszinssatz dar [87].

Die Formel (2) stellt die Ermittlung des Kalkulationszinssatzes dar:

$$i^* = \frac{(1 + i)}{(1 + \pi)} - 1 \quad (2)$$

mit:

- i^* Kalkulationszinssatz
- i Nominal- bzw. Basiszinssatz
- π Inflationsrate bzw. Preissteigerung

Unter Anwendung der erwähnten Zinssätze für die Preissteigerung und den Kapitalzinssatz wird ein Kalkulationszinssatz in Höhe von 3,33% ermittelt, welcher für die weitere Berechnung der LZK herangezogen wird.

Alle weiteren Daten, die für die Ermittlung der LZK der fassadengebundenen Begrünungen verwendet wurden, stammen einerseits aus der Datensammlung der Diplomarbeit von R. Sofric [88] und andererseits aus einem im Dezember 2021 geführten Experteninterview mit R. Dopheide [89].

Das berechnete Begrünungsszenario umfasst eine 20m² große Wandfläche, welche mit einer Höhe von zwei Metern und einer Breite von zehn Metern definiert wird. Der Betrachtungszeitraum wird auf 25 Jahre festgesetzt. Betrachtet werden verschiedene bodengebundene- und fassadengebundene Begrünungssysteme, siehe dazu Tabelle 2.

Tabelle 2: Untersuchte Begrünungssysteme

Bodengebundene Fassadenbegrünungssysteme	Kurzbezeichnung
Aushub ohne Rankhilfen	BGB FB Ohne
Aushub mit Gitter als Rankhilfen	BGB FB Gitter
Aushub mit Stäben als Rankhilfen	BGB FB Stäbe
Aushub mit Netzen als Rankhilfen	BGB FB Netze
Aushub mit Seilen als Rankhilfen	BGB FB Seile
Trogsystem ohne Rankhilfen	Trog Ohne
Trogsystem mit Gitter als Rankhilfen	Trog Gitter
Trogsystem mit Stäben als Rankhilfe	Trog Stäbe
Trogsystem mit Netzen als Rankhilfen	Trog Netze
Trogsystem mit Seilen als Rankhilfen	Trog Seile

Tabelle 3: Wandgebundene Vertikalbegrünung

Wandgebundene Vertikalbegrünung	Kurzbezeichnung
Vollflächigem Vegetationsträger System-Typ 90DE GREEN	90 DEGREEN
Vollflächigem Vegetationsträger Baukastensystem - Vertical Garden Service	Vertical Garden
Teilflächiger Vegetationsträger System-Typ Grünwand (TechMetall)	TechMetall

5 Fallstudie

5.1 Darstellung des Ereignisses

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Mehr Grüne Schulen“, das zum Ziel hat, Umsetzungsszenarien in Hinblick auf finanzielle und auch technische Bedingungen zu entwickeln, war dem Camillo Sitte Bautechnikum (CSBT) die

Möglichkeit gegeben, innen- und außenliegende Low-Cost-Begrünungen mittels einer selbst angefertigten Selbstbau-Anleitung umzusetzen. Die interaktive Beteiligung mehrerer Institutionen am Planungs- sowie Bauprozess diente zur Nutzung von Synergien bei den verschiedenen Fähigkeiten und Erfahrungen: Die TU-Wien übermittelte den Schüler*innen des CSBT in Form eines Workshops technische Informationen und Inspirationen für den Bau der Begrünungsanlagen. Die HBLFA war der Ansprechpartner für Pflanzenwahl und Pflegemaßnahmen. Die Schüler*innen des CSBT selbst, entwickelten, unter Anleitung und Organisation ihrer Professoren, aus den ihnen bereits übermittelten Inspirationen und Internetrecherchen 10 verschiedene Bauanleitungen für die Innen- und Außenbegrünungen. Dabei nutzen sie ihren Bauhof für die Fertigstellung der dafür notwendigen Materialien. Die Finanzierung der dafür verrechenbaren Aufwendungen bzw. Materialien übernahm der Fördergeber des Projektes, nämlich die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und des CSBT selbst. Die Schüler des CSBT nutzen für die Erarbeitung der Modelle die Unterrichtseinheiten der Werkstunden, welche wöchentlich 3 x 50 Minuten betragen.

Im Folgendem die Darstellung des Ereignisses „Entwicklung der Innenraumbegrünungen“ in Form einer tabellarischen zeitlichen Abfolge:

Tabelle 4: Ablauf Ereignis

Vortrag der TU-Wien	
Inhalt:	In diesem Vortrag teilten Mitarbeiter*innen der TU Wien der am Forschungsprojekt teilnehmenden Klasse des CSBT und der HBLFA die technischen Anforderungen und Bedingungen an die Low-Cost-Begrünungen mit.
Ziel:	Um die Schüler*innen in das Thema einzuweihen sowie Anregungen zu bieten, enthielt der Vortrag Informationen über bereits ausgeführte Low-Cost-Modelle.
Vorgaben:	Die Schüler*innen der Klasse des CSBT waren eingeladen, in 5 Gruppen Ideen für die

	Bauanleitungen zu entwickeln und erste Entwürfe davon beim TU-Workshop vorzustellen. Das Budget pro zu gestaltendem Begrünungsmodul betrug 2500 Euro. Die Bauanleitungen mussten auf Größe Maßnahmen an Beleuchtung, Dünger, Substrat, Bewässerung, Stromversorgung und Brandschutz beinhalten.
Dauer:	2 Stunden
Online - Exkursion Kandlgasse	
Inhalt:	In Rahmen des Forschungsprojektes „Mehr Grüne Schulen“ werden abseits von Umsetzbarkeiten von Low-Cost-Modellen auch Fassadenbegrünungen untersucht. Ein Ausführungsbeispiel letzterer befindet sich in der Kandlgasse.
Ziel:	Um Einsicht in eine funktionierende Fassadenbegrünung zu bekommen und deren technische und ausführungsrelevante Maßnahmen zu verstehen, unternahmen die Schüler*innen der jeweiligen Klasse des CSBT und der HBLFA einzeln (aufgrund der Covid 19-Maßnahmen) eine Begehung der Fassade in der Kandlgasse vor.
Dauer:	1 Tag
Gruppentreffen	
Inhalt:	Die Gruppen der Klasse des CSBT präsentierten und besprachen ihre Ideen und Entwürfe, die sie vorab recherchierten. Sie entschieden sich jeweils für eine Variante.
Ziel:	Das Gruppentreffen beabsichtigte, die Ideen und Entwürfe zu besprechen. Eventuale Problemstellungen in den Entwürfen konnten durch das Auseinandersetzen mit dem Thema und mit den Gruppenmitglieder erkannt werden. Anhand dessen sollten sich die Schüler*innen für eine Variante entscheiden.

Dauer:	1 Stunde
Gruppentreffen mit dem CSBT	
Inhalt:	Die Gruppen der Klasse des CSBT hatten ihre Entwürfe fast fertiggestellt, besprachen sich ein letztes Mal vor der Präsentation der Entwürfe schulintern mit den Professor*innen bzw. Projektbeteiligten des CSBT.
Ziel:	Vor dem bevorstehenden Low-Cost-Workshop mit der TU-Wien, nutzen die Schulklasse das interne Gruppentreffen, um letzte offene Fragen zu beantworten, sich auszutauschen und organisatorische Belange zu klären.
Dauer:	2 Stunden
Low-Cost-Workshop	
Inhalt:	Die Gruppen der Klassen des CSBT und der HBLFA präsentierten den am Forschungsprojekt beteiligten Mitarbeiter*innen ihre Entwürfe für die Low-Cost-Innen- und Freiraumbegrünungen.
Ziel:	Anhand der Genauigkeit der Ausführung sowie dem Präzisionsgrad der präsentierten Entwürfe und ihrem Maß an miteingebauten Rahmenbedingungen (wie z.B. Stromversorgung, Bewässerung) konnten die am Forschungsprojekt beteiligten Institutionen Arbeitsfortschritte der Schüler*innen erkennen, sowie eventuelle Problematiken hinsichtlich nicht erkannter Zusammenhänge technischer Ausführungen aufgrund mangelnden Inputs an Informationsflüssen und diese Mängel für nachträgliche Prozessoptimierungen aufzeichnen. Der Workshop diente außerdem als Grundlage für den nächsten Schritt, also die Ausarbeitung fertiger Bauanleitungen für die Innen- und Freiraumbegrünung: Offene Fragen der Klassen

	wurden geklärt und Umsetzungsanweisungen für die Bauanleitungen wurden dargelegt.
Dauer:	2 Stunden
Fertigstellung der Bauanleitungen	
Inhalt:	Die Klassen des CSBT stellten mit Unterstützung der TU Wien in den eingeteilten Gruppen 5 Bauanleitungen für die Innenraumbegrünungen fertig.
Ziel:	Die von der Klasse entworfenen Bauanleitungen für die Innenraumbegrünungen wurden einer zweiten Klasse zum Bau übergeben, deshalb mussten die Anleitungen in einem hohen Präzisionsgrad erstellt werden. In den Bauanleitungen waren neben Materialien, Verbindungen zusätzlich auch Fachmärkte und Preise angeführt. Laut den in den Bauanleitungen angegebenen Endpreisen, sind alle Modelle für einen Preis unter 600 Euro erhältlich.
Dauer:	4 Wochen
Bau der Low-Cost-Begrünungen	
Inhalt:	Eine zweite Klasse des CSBT, der die Zuständigkeit des Bauens der Begrünungen übergeben worden war, setzte die Bauanleitungen schlussendlich um. Für die Anfertigung der Modelle nutzen sie die Räumlichkeiten und Gerätschaften des Bauhofs, in denen maschinelle Arbeiten wie Sägen, Schweißen, Schrauben möglich waren. Die Arbeiten fanden in Gruppen, jeweils Montags und Mittwochs, unter Beaufsichtigung des Bauhofleiters statt.
Ziel:	Die ausführenden Gruppen des CSBT hatten die Aufgabe, die Innenraumbegrünung funktionstüchtig herzustellen. Mängel in den Bauanleitungen aufgrund von den Abweichungen zwischen Theorie und Praxis konnten in den Werkstunden im Bauhof und unter der Expertise vom Bauhofleiter behoben

	werden. Beispielsweise wurden manche in den Bauanleitungen angegebenen Verbindungen durch eine praxisnähere bzw. besser funktionierende Version hergestellt. Dieser Prozess enthielt daher neben dem Schutz der Begrünung auch eine unerlässliche Optimierung der Bauanleitungen.
Dauer:	1 Semester
Präsentation der Low-Cost-Begrünungen	
Inhalt:	Am Areal des CSBT eröffneten und präsentierten die Ausführenden den Restlichen Projektbeteiligten ihre fertigen Low-Cost-Begrünungen.
Ziel:	Der Eröffnungstag der Fassaden stellte einen Meilenstein für die Entwicklung von Low-Cost-Begrünungen an Schulen dar. Es fand ein Austausch zwischen den verschiedenen Institutionen und ihren Entscheidungsträgern statt, mit dem Ziel, die weiteren Schritte zur Umsetzungskonzeptionierung von Begrünungen auf andere Schulen zu übertragen.
Dauer:	3 Stunden

Die Klasse, die für den Bau der Innenraumbegrünungen zuständig war, entwarf ebenfalls fünf Grobkonzepte für Freiraumbegrünungen. Diese Konzepte wurden vom Projektteam der TU Wien zu Bauanleitungen aufbereitet

5.2 Prozessdarstellung

Um den Ablauf der in Punkt 5.1 dargestellten Ereignisse zu konkretisieren, um diesen in seinem Grundgerüst zu erfassen sowie in einem nächsten Schritt zu analysieren, wurden zunächst Prozessdiagramme in Form von Input-Output-Schaubildern erstellt, die in den nachstehenden Tabellen (siehe Tabelle 5) präsentiert werden. Die beiden ersten Schaubilder zeigen die Unterprozesse der Umsetzung der Low-Cost-Begrünung, deren Fortschritt aufeinander aufgebaut ist. Die Prozesse sind jeweils aus der Sicht der drei beteiligten Institutionen (TU-Wien, CSBT, HBLFA) wiedergegeben, d.h. ihr Beitrag an den einzelnen Abschnitten tritt zum Vorschein. Jeder Unterprozess enthält Informationen über

seine Inputs und Outputs, wobei ein jeder Knoten „Output“ gleichzeitig den Input für den nachfolgenden Knoten „Prozess“ darstellt. Somit sind auch die jeweiligen Einzelprozesse für das Gelingen der Aufgaben notwendig, da sie wieder erneut als Input für den nächsten Prozess dienen. Das Schaubild in der Tabelle 7 fasst die Prozesse aus Tabelle 5 und Tabelle 6 in die vier Hauptprozesse „Gruppenarbeit“, „Low-Cost-System Workshop“, „Entwicklung“, „Produktion“ zusammen. Für die jeweiligen Hauptprozesse sind dabei die dafür erforderlichen „Inputs“ und „Outputs“ aufgelistet. Dieses Schaubild enthält zudem Informationen über Dauer und Zeitaufwand der beteiligten Institutionen. Tabelle 8 fasst die Abfolgen aus den vorangegangenen Tabellen, derer es für die Umsetzung der Low-Cost-Begrünungen bedarf, in einem Gesamtprozess zusammen. Dieser ergibt sich nur noch aus den Schritten „Input“, „Entwicklung“, „Produktion“ und „Output“. Aus diesem Schaubild lässt sich leicht herauslesen, was den Schüler*innen bereitgestellt werden musste, um den erwarteten Output, die Entwicklung bzw. den Bau der Begrünungen, zu erreichen.

Es folgt nun das Kapitel 6 Ergebnisse. In diesem werden die Ergebnisse der in Kapitel 4 beschriebenen Methodik präsentiert. Am Beginn erfolgt die Prozessanalyse der in Kapitel 5 angeführten Prozessdarstellung. Anschließend werden die daraus gewonnenen Erkenntnisse dargelegt.

Tabelle 5: In Einzelprozesse gegliedertes Input-Output-Schaubild, Teil 1

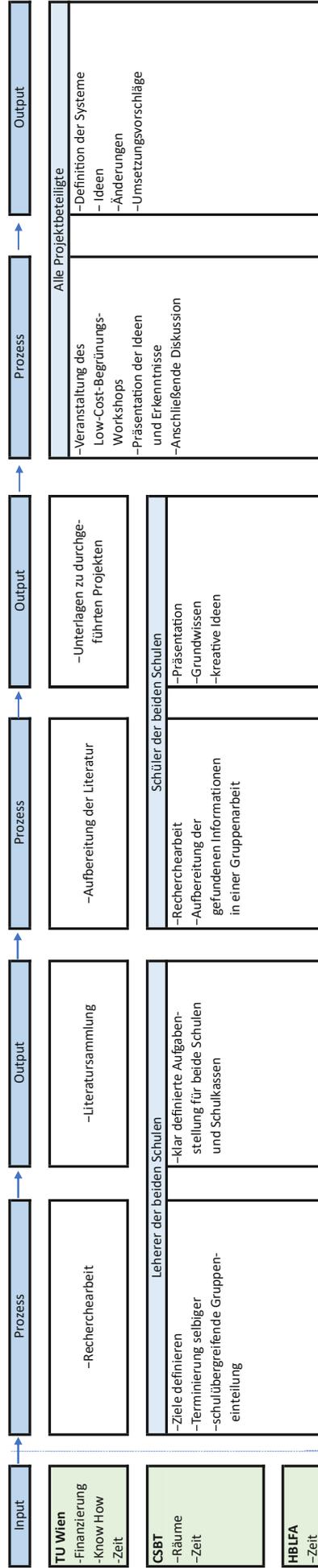


Tabelle 6: In Einzelprozesse gegliedertes Input-Output-Schaubild, Teil 2

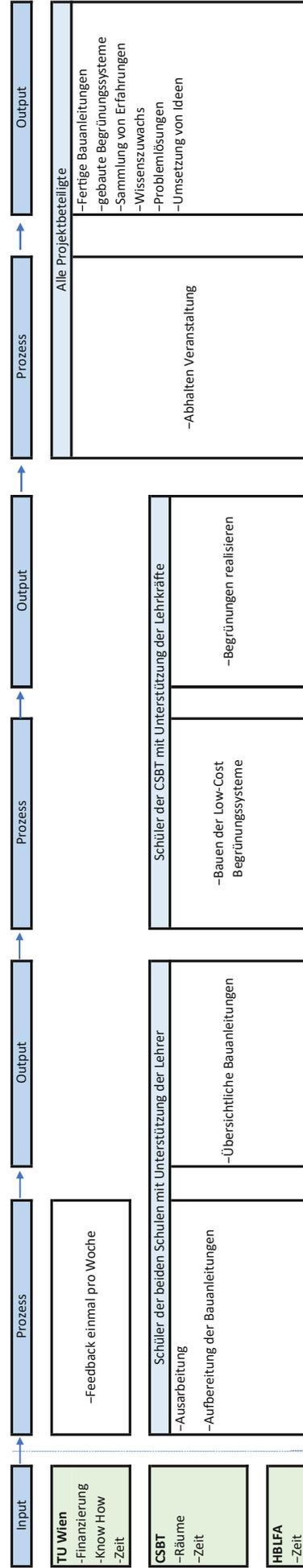


Tabelle 7: Input-Output-Schaubild des Gesamtprozesses

Input	Prozess: Gruppenarbeit	Output
<ul style="list-style-type: none"> -Inspirationsunterlagen -konkrete Aufgabenstellung 	<ul style="list-style-type: none"> -Recherchearbeit in Gruppen mit -Feedback von Lehrkräften 	<ul style="list-style-type: none"> -Grundwissen -Ideen -Präsentation
Zeit: ca. 4 Wochen Vorbereitung + 4x3EH Meetings (2 Lehrkräfte)		

Input	Prozess: LC-System Workshop	Output
<ul style="list-style-type: none"> -Know-How TU Wien -Grundideen Schüler -Ideen der Schüler 	<ul style="list-style-type: none"> -Präsentation der Ideen -Feedback und Entscheidung Schüler und TU Wien 	<ul style="list-style-type: none"> -Optimierung der Ideen -Festlegung auf ein System
Zeit: ca. 4 Wochen Vorbereitung + 4x3EH Meetings (2 Lehrkräfte)		

Input	Prozess: Gruppenarbeit	Output
<ul style="list-style-type: none"> -Optimierungsanregungen -festgelegte Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> -Ausarbeitung -Aufbereitung der Bauanleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> -Bauanleitungen -Optimierung der Ideen
Zeit: 1x pro Woche 3EH		

Input	Prozess: LC-System Workshop	Output
<ul style="list-style-type: none"> -Bauanleitungen -Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> -Bauen und Bepflanzungen der Low-Cost-Begrünungen 	<ul style="list-style-type: none"> -Indoorbegrünungen -Klima in der Klasse -Bewusstsein
Zeit 2x pro Woche 3EH		

Tabelle 8: in Hauptprozesse gegliedertes Input-Output-Schaubild

Input	Entwicklung	Produktion	Output
<ul style="list-style-type: none"> -Inspirationsunterlagen -Beispiele aus aller Welt -konkreter Arbeitsauftrag -Materialien (Holz etc.) -Finanzierung -Bauanleitung 	<ul style="list-style-type: none"> -Gruppenarbeit - Recherche-Aufgabe -Gruppenbesprechung -LC-System-Workshop -Auswahl der Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> -Aufbereitung der Ergebnisse des Workshops -Bau der Entwürfe -Aufbereiten der Bauanleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> -Indoor-/Freiraumbegrünung -verbessertes Klassenklima -Bewusstsein der Schüler -Bauanleitungen

6 Ergebnisse

6.1 Prozessanalyse und Phänomene

Die Schüler*innen des CSBT gestalteten im Schulprojekt Bauanleitungen für Low-Cost-Begrünungen, die sie in einem weiteren Schritt selbst herstellten. Ein Zweck des Projektes war zudem, die Interaktion zwischen den verschiedenen Fertigkeiten in Schulen zu nutzen. Im Prozess übernahm also die Schule des CSBT die handwerklichen Aufgaben, während die HBLFA mit ihrem Wissen über Gartenbau und Pflanzenkunde ihren Beitrag in der Entwicklung leistete. Die fertigen Modelle konnten nach eigener Fantasie der Schüler*innen angefertigt werden, solange sie den budgetären Vorgaben sowie den (pflanzen)technischen Bedingungen betreffend Bewässerung, Bepflanzung, Brandschutz, Beleuchtung und Stromversorgung entsprachen.

Der Knoten „Input“ in Tabelle 8 listet die Informationseingänge auf, die den Schüler*innen als Ausgangsmaterialien übermittelt worden waren, um den Start der Entwicklung der Bauanleitungen zu ermöglichen. Diese Ausgangsmaterialien enthielten u.a. den Vortrag der TU Wien oder die Exkursion in die Kandlgasse, welche Inspirationen und Informationen für Begrünungssysteme lieferten. Aus einem Interview, das mit dem Klassenlehrer der Schüler*innen des CSBT gehalten worden war, ist jedoch zu entnehmen, dass der Klasse eine umfangreichere Vorbereitung zugrunde lag, als jene im Rahmen des Forschungsprojekt [90]. Und zwar entwickelte der Lehrer mit seinen Schüler*innen vorab ein Projekt, das die Entwurfsplanung von sogenannten Fassadensteinen für nachträglich eingesetzte Begrünungselemente vorsah. Diese außerordentliche Erfahrung der Schüler*innen ist ein zusätzlicher Input, der sich womöglich auf das Gelingen der Bauanleitungen auswirkte. Will man nun auf Basis des Prozesses des Forschungsprojektes ein Modell einführen, in dem andere Schulen Begrünungssysteme umsetzen können, wird ersichtlich, dass der Knoten „Input“ im vorhandenen Konzept erhöhte Kapazitäten an Zeit und Ausbildung / Know How erforderlich macht. Da nicht alle Schulen solche Kapazitäten vorweisen, wäre es von Nutzen, bestehendes Wissen zu sammeln, zu teilen und den Suchenden zugänglich zu machen.

Im Knoten „Entwicklung“ in Tabelle 8 sind die Aufwendungen ersichtlich, die für die Erstellung der Bauanleitungen herangezogen wurden. Darunter fallen Online-Termine mit der TU Wien, sowie die internen wöchentlichen Termine, in denen die Entwürfe besprochen, verbessert und bestehende Fragen der Schüler*innen geklärt wurden. Laut dem Interview mit dem Klassenlehrer, nutzten die Schüler*innen des CSBT die wöchentlich stattfindenden Werkstunden, die von zwei Werklehrern geführt worden waren, um sich in den Gruppen auszutauschen und Ratschläge vom Lehrpersonal zu erhalten [90]. Einen nicht messbaren Aufwand aber stelle nach Aussage des Klassenlehrers die Zeit dar, die die Klasse abseits der Schulzeiten für die Ausarbeitung nutze. Laut dem Interview des zweiten Klassenlehrers wurde ein erheblicher Teil der Ausarbeitung in der Freizeit geführt [91]. In der schulfreien Zeit wurden also wesentliche Rechercheaufgaben, Teile der Erstellung der Entwürfe und der fertigen Bauanleitungen verrichtet. Überdies geht aus dem Interviews mit den Klassenlehrern hervor, dass bereits die Entwürfe der Bauanleitungen einem hohen Fertigstellungsgrad zuzuordnen waren, was seiner Ansicht nach nicht nur auf die intensive Begleitung der Schüler*innen durch Experten*innen zurückzuführen war, sondern auch auf die gestalterischen Fähigkeiten und das technische Verständnis, welches von der jeweiligen Fachrichtung der Schule herrührt [90], [91]. Die technischen Fähigkeiten des CSBT wurden zudem von dem gartenbautechnischen Wissen der HBLFA hinsichtlich der Pflanzenwahl, Substrat etc. abgerundet und trugen demnach zur Erstellung der Bauanleitungen bei, deren Funktionalität als Voraussetzung für die reibungslose Bautätigkeit der nächsten Klasse galt. Damit ein derartiger Austausch von verschiedenen Kompetenzen gelingt, ist nach Aussagen des Klassenlehrers der CSBT eine funktionierende Vernetzung unumgänglich. Obwohl die Interaktion von verschiedenen Institutionen die Möglichkeit bietet, Synergien aufgrund fächerübergreifender Kompetenzen zu nutzen, bedeutet dies zugleich eine Abhängigkeit der verschiedenen Institutionen voneinander, da die gebrauchte Expertise in der Tat von der anderen Institution zur Verfügung gestellt werden muss.

Der im Knoten „Entwicklung“ dargestellte Prozess erfordert zusammengefasst mehrere Ressourcen: Zeit, verschiedene Kompetenzen, eine funktionierende Vernetzung zur Wissensteilung. Aus einem Interview mit der Direktorin des CSBT

geht hervor, dass ein derartiger Planungs- und Produktionsprozess (siehe Tabelle 8, Knoten „Entwicklung“ und „Knoten „Produktion“) aufgrund seiner Fülle und aus rechtlichen Gründen bzw. aufgrund des gewerberechtlchen Erscheinungsbildes, nicht in wiederkehrenden und kontinuierlichen Perioden ausgetragen werden kann und deshalb nicht für Schulen außerhalb gesonderter (Forschungs)Projekten in Frage kommt. Für Schulen, die eine Begrünung umsetzen wollen, aber in denen laut Lehrplan nicht vorgesehen ist, sämtliche Unterrichtsstunden für die Planung und den nachträglichen Bau der Systeme zu verwenden, ist demnach ein Modell erforderlich, in dem der Knoten „Entwicklung“ auf ein Minimum reduziert wird.

Der Knoten „Produktion“ in Tabelle 8 beschreibt die Tätigkeiten des Bauens der ausführenden Klasse des CSBT. In den Werkstunden eines Semesters, die jeweils Mittwochs und Freitags im Bauhof des Bautechnikums stattfanden, stellten die Schüler*innen in Gruppen die fertigen Begrünungen nach den Anleitungen her. Wie in den vorherigen Knoten sind auch hier die aufgewendeten zeitlichen und technischen Ressourcen nicht in anderen Schulen replizierbar. Nicht alle Schulen sind mit einem Bauhof ausgestattet, in dem Hölzer zugeschnitten oder Arbeiten wie Schrauben oder Schweißen verrichtet werden können. Außerdem gilt auch hier, dass ein solcher Prozess nicht auf andere Schulen übertragbar ist, da, wie im Knoten „Entwicklung“, die rechtliche Komponente vorsieht, wiederkehrende und kontinuierliche Prozesse außerhalb des vorgesehenen Lehrplans zu unterlassen oder einer Sondergenehmigung zu unterziehen. Folglich ist der Prozess der „Produktion“ zu vereinfachen und zeitlich zu verkürzen, um auch Schulen mit spärlichen Ausstattungen und Kompetenzen die Möglichkeit des Erarbeitens einer Low-Cost-Begrünung zu bieten. Eine weitere Komponente, die bei dem Erwerb von Materialien für die Begrünungssysteme erforderlich ist, sind finanzielle Mittel. Im obigen Fallbeispiel erfolgte die Kostendeckung vom Förderinstitut FFG und vom Arbeitsmittelbeitrag der Schüler selbst. Wollen nun Schüler außerhalb von Forschungsprojekten Low-Cost-Begrünungen umsetzen, sind alternative Finanzierungen gefragt.

Im Knoten „Output“ in Tabelle 8 sind die Ergebnisse des Projektes dargestellt. Mitunter zeigen sich ein verbessertes Raumklima sowie ein erweitertes

Bewusstsein der Schüler*innen. Allerdings ließ die Klassenlehrerin des CSBT eines vorgegangenen Forschungsprojektes in einem Interview verlauten, dass nach Fertigstellung der Begrünungen Schäden aufgrund von Vandalismus und mangelnder Qualität der Materialien in den Begrünungssystemen aufgetaucht sind. Um dies zu verhindern, sollten sowohl beaufsichtigte (Klassen)Räume für die Elemente herangezogen werden, als auch mehr Geld für bessere Qualitäten der Bauprodukte verwendet werden [92].

6.2 Erkenntnisse Fallbeispiel

Aus dem Punkt „Prozessanalyse und Phänomene“ ergeben sich zusammengefasst nachstehende Schlüsse.

Damit ein Projekt zustande kommt, bedarf es dreier Komponenten: eines Initiators („I“), der die Idee hat und das Vorhaben in die Wege leitet, eines Aktiven („A“), der die Arbeit verrichtet, die zur Ausführung des Vorhabens nötig ist, also die Aufgaben umsetzt, und einer passiven Stelle („P“), die sozusagen eine Partnerschaft eingeht und das Projekt passiv, z.B. mit Fördermitteln (Material, Geld oder Wissen), unterstützt.

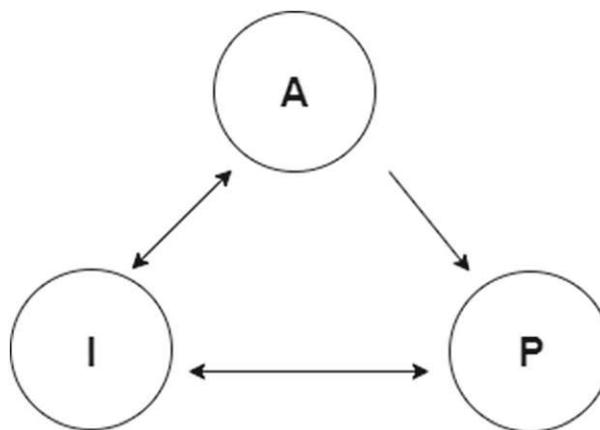


Abbildung 13: Erforderliche Komponenten für ein Projekt

In Abbildung 13 sind diese Komponenten mit ihren Wechselbeziehungen dargestellt. Für die Machbarkeit von Begrünungen an Schulen werden diese Komponenten vorausgesetzt.

Des Weiteren sind in Tabelle 9 die erkannten Probleme und dazugehörigen Lösungen dargestellt.

Ergebnisse

Tabelle 9: Problem und Lösung

Strukturelle Rahmenbedingung	Lösung
Vorbereitung der Schüler*innen erfordert viel Zeit	Wissen sammeln und teilen
Interaktion zwischen Institutionen/Stakeholdern erforderlich (Synergien)	Plattform zum Austauschen
Zeichnerische (gestalterisch & techn.) Fähigkeiten, oder viel Zeit gefragt	Fertige und erprobte Bauanleitungen zur Verfügung stellen
Bauhof zum Zuschneiden der Modelle erforderlich	Materialien bereits auf Maß und in Form
Materialien kosten Geld	Finanzierungsmöglichkeiten werden zu Verfügung gestellt
Vandalismus; Schäden	Beaufsichtigte (Klassen)Räume für die Begrünungen heranziehen; hochwertigere Materialien erwerben; Bezug zwischen Schüler*innen und Begrünung stärken, indem sie in Pflege integriert werden

Aus den Problemen und Lösungen werden sogenannte „strukturelle“ Rahmenbedingungen“ ersichtlich, die sich neben der Berücksichtigung von Finanzen und baurechtlichen bzw. technischen Gegebenheiten ergeben und zum Erhalt von Low-Cost-Begrünungen an Schulen beitragen. Diese können wie folgt (siehe Tabelle 10) zusammengefasst werden.

Tabelle 10: Rahmenbedingungen für Low-Cost-Begrünungen an Schulen

Finanziell	(Bau)Rechtlich	Strukturell
siehe 3.3	siehe 3.1 und 3.2	Zeit
		Fachwissen
		Gestalterische Fähigkeiten
		Bauhof
		Materialien
		Austausch zwischen Schulen

6.3 Vernetzungsplattform

Würde man eine Online-Plattform (siehe Abbildung 14) schaffen, in der die Möglichkeit des Teilens und der Speicherung von Daten bestünde, könnte man einen Großteil der Phänomene aus Punkt 6.1 „Prozessanalyse und Phänomene“ bzw. der Probleme aus Tabelle 9 lösen. So würde die Vernetzungsplattform erlauben, dass verschiedene Stakeholder*innen (Initiator*in, Aktive, Passive, siehe Abbildung 13) darauf zugreifen, sich austauschen, oder eigene Daten teilen können. Solche Stakeholder*innen können Schulen verschiedener Kompetenzen (Gartenbauschule, Gymnasium, etc.), externe Unternehmen (Gärtner*innen, Baumärkte, Tischlereien), Gemeinden bzw. Forschungstreibende, oder Interessierte (Eltern, Nachbarn, etc.) sein. Den Stakeholder*innen steht es frei, je nach ihren Fähigkeiten Inhalte zu teilen und somit als Inputgeber*innen zu verfahren, oder die Inhalte zu verwenden und somit als Konsument zu agieren. Die Inhalte, die geteilt werden, mögen verschiedener Natur sein: Übrige Materialien dürfen zur Verfügung gestellt werden, bevorstehende Begrünungs- bzw. Forschungsprojekte öffentlich gemacht, erprobte Bauanleitungen geteilt werden. Darüber hinaus bietet eine Forumsfunktion die Kommunikation der Plattform-User*innen. Dadurch ergeben sich enorme Verkürzungen der unter Punkt 5.2 beschriebenen Prozessen „Input“, „Entwicklung“ und „Produktion“, was eine Einsparung der Ressourcen an Zeit, Ausbildnern und Fähigkeiten mit sich bringt und was deshalb als Voraussetzung für die Entwicklung von Umsetzungsszenarien von Low-Cost-Begrünungssystemen an Schulen geringerer Kompetenzen zugrunde gelegt wurde. Damit wären die strukturellen Rahmenbedingungen aus Tabelle 10 erfüllt. Darüber hinaus kann die Vernetzungsplattform dafür genutzt werden, um Ideen mit einer größeren

Ergebnisse

Reichweite zu verbreiten und damit eine Art „Werbeeffect“ in anderen Schulen zu erzielen.

Aus der Anwendung der Vernetzungsplattform resultieren einige Umsetzungsszenarien, die zur Realisierung von Low-Cost-Begrünungen an Schulen beitragen. Jene werden in Punkt 6.4 angeführt.

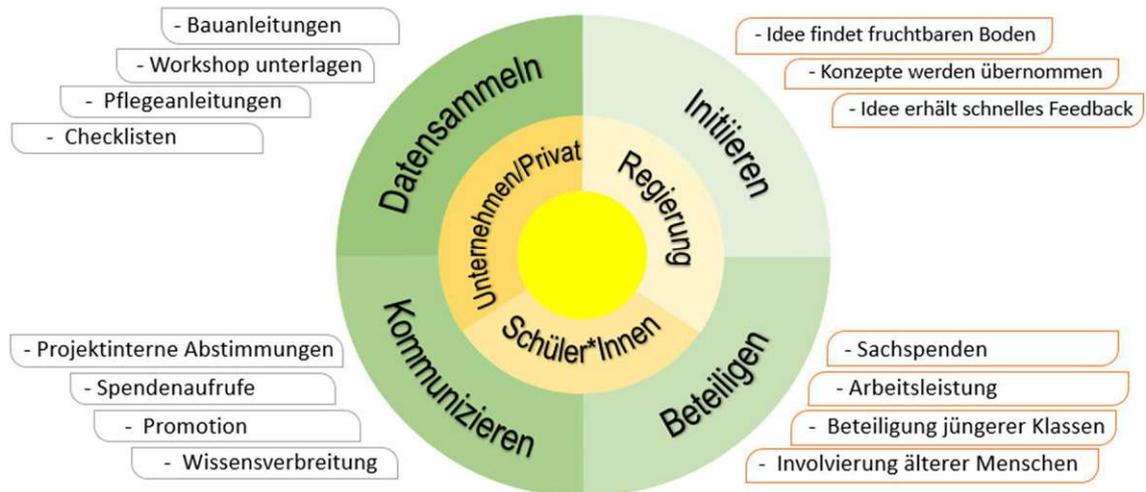


Abbildung 14: Vernetzungsplattform

6.4 Umsetzungsszenarien

Die Szenarien, die durch die beschriebene Vernetzungsplattform ermöglicht werden, lehnen sich an folgende drei Prinzipien an:

- Crowdsourcing
- Chainbuilding
- Crowdwinning

„Crowdsourcing“ ist ein bereits gängiges Modell für Arbeitsprozesse und wurde 2006 erstmals von amerikanischen Journalisten Jeff Howe in einem seiner Artikel publiziert. Laut seiner Definition, versteht man unter Crowdsourcing Folgendes: „*Crowdsourcing (von englisch crowd für „(Menschen-)Menge“ und sourcing für „Beschaffung“; auch Crowdworking) bezeichnet die Auslagerung traditionell interner Teilaufgaben an eine Gruppe freiwilliger User, z. B. über das Internet. Diese Bezeichnung ist an den Begriff Outsourcing angelehnt, die Auslagerung von Unternehmensaufgaben und -strukturen an Drittunternehmen. Es wird*

synonym auch der Begriff Schwarmauslagerung verwendet“ [93] In anderen Worten bedeutet Crowdsourcing das (meist unentgeltliche) Auslagern von sonst üblicherweise entgeltlichen Leistungen über das Web 2.0 von einer Organisation an eine breite Masse, nämlich die Crowd, welche durch einen unterschiedlichen Wissenstand bzw. Kompetenzen geprägt ist. Die Arbeitsteilung kann zu schnellerer Verarbeitung, Qualität, Flexibilität, Skalierbarkeit und Vielfalt bei gleichzeitig verringerten Kosten führen [93].

Das in dieser Arbeit frei erfundene Prinzip „Chainbuilding“ (von englisch *chain* für „Kette“ und *building* für „bilden“) steht für ein Modell der Kettenbildung. Demnach soll ein bereits funktionierendes bzw. erprobtes System anderen Interessenten (z.B. im Rahmen eines Workshops) vorgestellt werden, nützliche Techniken und Informationen weitergegeben und geteilt werden. Dies kann im Rahmen eines Workshops oder über eine Plattform geschehen. Durch dieses Modell lassen sich Systeme rascher verbreiten, da jene von einer Stelle zur anderen, wie eine Art Dominoeffekt, weitergegeben werden.

Das ebenso erdachte Prinzip „Crowdwinning“ (von englisch *crowd* für „(Menschen-)Menge“ und *winning* für „gewinnen“), widmet sich der Akquise weiterer Teilnehmer*innen bzw. „Crowds“. Diese könnte mit Werbung bereits umgesetzter Projekte oder durch Verlosungen umgesetzt werden.

In Abbildung 14 ist die Vernetzungsplattform samt ihrer Umsetzungsszenarien dargestellt. Die Abbildung zeigt die verschiedenen Institutionen, die in der zentralen Vernetzungsplattform agieren, sich austauschen, kommunizieren. Damit ergeben sich verschiedenste Szenarien. Ein Beispiel eines Szenarios ist aus der Abbildung 15 ersichtlich: Darin gibt ein*e Initiator*in sein/ihr Interesse über den Start eines Projekts in der Plattform bekannt. Diese*r Initiator*in (Schule A in Abbildung 15) ist in diesem Beispiel eine Schule (z.B. HTL), die über einen Bauhof verfügt und Materialien oder auch Baukastensysteme für die Begrünungen zur bereitstellen kann. Eine andere Institution (Schule B in Abbildung 15), beteiligt sich, da sie eine Gartenbauschule ist und für das Begrünungsprojekt Pflanzen zur Verfügung stellen kann. Über die Plattform werden Interessenten (Schulen X, Y, Z in Abbildung 15), welche die Begrünung in ihrer Klasse umsetzen möchten, informiert. Die Schulen A und B verkaufen die bereitgestellten Materialien an die Schulen X, Y, Z. Die Abrechnung wird über die Vereinsstruktur der Schulen A und B abgewickelt. Da die Vernetzungsplattform

Projekte und Vorhaben nach außen trägt, besteht die Möglichkeit, dass auch Einzelpersonen, Firmen oder Förderer darüber unterrichtet werden und (Material-)Spenden anbieten. Außerdem ermöglicht die Vernetzungsplattform den freien „Up- und Download“ von technischen Bauanleitungen, Recherchearbeiten, Fachberichte und optimierte Systeme. Da die Prozesse „Input“, „Produktion“, „Entwicklung“, und sogar auch „Finanzierung“, welche im Forschungsprojekt aus Punkt 5.1 mit viel Aufwand betrieben worden sind, im „neuen“ System auf eine „Crowd“ bzw. eine breitere Masse aufgeteilt werden, in der alle Beteiligten nach ihren Erfahrungen verfahren, kommt hier das Prinzip „Crowdsourcing“ ins Spiel. Haben Schulen dann bereits eine Low-Cost-Begrünung zum Bau gebracht, sind sie eingeladen, die Systeme in Form eines Workshops anderen Interessenten vorzustellen. Teilen sie zudem das erworbene Praxiswissen der Vernetzungsplattform mit, produzieren sie die vorgestellte „Chain“, indem andere Schulen „angesteckt“ und „verkettet“ werden. Mit Gewinnen, die durch den Verkauf der Materialien der Schulen erzeugt werden, ließen sich Materialien für die Begrünungssysteme erwerben, die andere Schulen bei einer Verlosung gewinnen und anschließend zusammenbauen können. Dies verspricht eine stärkere Motivation zur Teilnahme von Schulen am Bau von Low-Cost-Begrünungen oder anders ausgedrückt, so werden „Crowds“ gewonnen.



Abbildung 15: Umsetzungsszenario

6.5 Umsetzung der Vernetzungsplattform

Um eine optimale Funktionalität dieser Vernetzungsplattform zu erhalten, ist es notwendig, die Plattform selbst, also das Tool, ähnlich einer „Peer-To-Peer-Plattform“ (kurz P2P, von englisch peer „Gleichgestellte(r)“, „Ebenbürtige(r)“) zu verwirklichen. In einem „Peer-To-Peer“-Netzwerk erfolgt über ein Rechnernetz eine „Kommunikation unter Gleichen“, eine sogenannte „Querkommunikation“ [94]. Alle Anwender*innen sind in diesem Medium gleichberechtigt, können sowohl Dienste in Auftrag geben als auch selber nutzen. Üblicherweise werden die Netzwerkteilnehmer*innen ihren Fähigkeiten entsprechend in Gruppen eingeteilt, die spezifische Aufgaben übernehmen [94]. So sind in dieser Plattform verschiedene Zugänge einzurichten, d.h. für (Projekt-)Initiator*innen, für aktive Mitarbeitende und Unterstützende und zuletzt auch für passive Interaktive wie Financiers und (Material-)Förderer. Die Plattform ist nutzerfreundlich zu gestalten und soll so ausgeklügelt sein, dass ein Geldfluss reibungslos funktioniert. Werbung und Werbevideos fertiger Projekte sollen den Nutzer*innen präsentiert werden. Je durchdachter und attraktiver die Vernetzungsplattform gestaltet wird, desto mehr „User*innen“ interagieren auf dieser Plattform und umso größer sind die Anteilnahme und der Austausch an Wissen, Materialien und Ideen. Die Funktionalität dieser Peer-to-Peer-Plattform ist somit ein Maß für die Finanzierungshöhe, da mit einem maximalen Sharing die Kosten für die Projektbeteiligten sinken und somit der erforderliche Geldmittelbedarf auf ein minimales Maß gebracht wird.

Im nachfolgendem Kapitel 6.6 werden die Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen errechnet. Diese Ergebnisse sind nicht unmittelbar Teil dieser Arbeit, doch sie werden dem Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“ zur Verfügung gestellt.

6.6 Lebenszykluskosten von Fassadenbegrünungen

Um die im Kapitel 6.6.5 gezeigten Resultate besser nachvollziehen zu können, wird exemplarisch eine Berechnung der LZK (Kapitel 6.6.1 - 6.6.4) einer bodengebundenen Fassadenbegrünung vorgeführt. Alle weiteren Berechnungen der LZK finden sich im Anhang A.

Die in Tabelle 11 bis Tabelle 14 bereitgestellten Werte stammen, wie in Kapitel 4.5 beschrieben, aus einem Experteninterview [80] und aus einer vorangegangenen Diplomarbeit (Werte mit Preisbasis 2021) [79]. Um die Mengen- und Aufwandsermittlung für verschiedene bodengebundene Fassadenbegrünungen durchführen zu können, werden in Tabelle 11 die dafür typische Werte angeführt.

Tabelle 12 zeigt durchschnittliche Marktwerte für die jeweiligen Rankhilfen, aufgeteilt in Material- und Personalkosten und Wartung und bezogen auf die Einheit Quadratmeter. In Tabelle 13 werden die nötigen Instandhaltungsarbeiten bodengebundener Fassadenbegrünungen inklusive ihrer Aufwendungen dargelegt. In Tabelle 14 sind die Instandhaltungs- und Wartungskosten fassadengebundener Begrünungen aufgelistet.

Tabelle 11: Parameter Baggerarbeiten, Preisbasis 2021

Baggerarbeiten	Aushub	
Kosten/Leistung	300 €/Tag	5 m ³ /Tag
Abm. Loch	80 cm Breit	60 cm Tief
Abm. Substrat	60 cm Breit	50 cm Tief

Tabelle 12: Parameter Rankhilfen, Preisbasis 2021

Rankhilfen	Herstellungskosten	Wartungskosten
Gitter - Starr und flächig	190 €	5 €
Personalkosten Montage Gitter	140 €	
Stäbe - Starr und linear	160 €	5 €
Personalkosten Montage Stäbe	120 €	
Netze - flexibel und flächig	110 €	6 €
Personalkosten Montage Netze	140 €	
Seile - Edelstahl - flexibel und linear	130 €	8 €
Personalkosten Montage Seile	110 €	

Tabelle 13: Parameter Instandhaltung bodengebundene Begrünungssysteme, Preisbasis 2021

Instandhaltung Bodengebunden		Von Jahr	bis Jahr	Kosten/m2
Sichtkontrolle		1	X	0
Rückschnitt	<2m Höhe per Hand	1	3	5 €
	<5m Höhe Anlegeleiter (2 Arbeitskräfte)	3	10	10, €
	>5m Höhe Hubsteiger	10	50	25 €
Bewässerung	Nach 4 Jahren mit Erdreich verwachsen			5 €
Düngen				3 €

Tabelle 14: Parameter Instandhaltung und Wartung fassadengebundene Begrünungssysteme, Preisbasis 2021

Instandhaltung und Wartung Fassadengebunden		Von Jahr	bis Jahr	Kosten/m2
Sichtkontrolle		1	X	0
Rückschnitt	bis 5 m Höhe ohne Hubsteiger (geringe Bauhöhe)	1	X	50 €
	Mit Hobsteige (große Höhe)	1	X	65 €
	inkl. Miete Hubsteiger	1	X	35 €
Bewässerung				4 €
Düngen				5 €
Wartung Bewässerungscomputer				5 €

6.6.1 Herstellkosten bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe

In der Spalte „ERRICHTUNG“ (siehe Tabelle 15) werden die jeweiligen Kostenstellen beschrieben. Die in der Tabelle 15 errechneten Herstellkosten fallen nur einmal an und beziehen sich auf das Jahr 0. Die Einheitspreise der Spalte „Kosten €/EH“ werden entweder mit lfm (Laufmeter), m² (Fassadenfläche) oder m³ (Bodenaushub) multipliziert. Die Ergebnisse sind in der Spalte „Kosten gesamt €“ dargeboten. Die „Pflanzen“ werden beispielsweise mit der Breite von zehn Metern multipliziert, die „Gerätekosten“ des Baggers werden mit 0,8m x 0,6m x 10m (Breite x Tiefe x Länge) multipliziert und beziehen sich somit auf das Volumen des Aushubs. Die Summe der einzelnen Kostenstellen ergeben die Gesamterrichtungskosten.

Tabelle 15: Errichtungskosten BGB FB Stäbe, Preisbasis 2021

Bodengebunden Aushub, Rankhilfe (Stäbe)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26	26 €	260 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55	55 €	550 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80	80 €	800 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	160	160 €	3 200 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	120	120 €	2 400 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23	23 €	230 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1	1 €	10 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150	150 €	720 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60	60 €	288 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170	170 €	1 020 €
Gesamterrichtungskosten						9 478 €

6.6.2 Instandhaltung von bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe

Auch für die Instandhaltung, Wartung und Pflege gibt es verschiedenste Kostenstellen. Diese werden in der Tabelle 16 vorgeführt.

Tabelle 16: Instandhaltung, Wartung und Pflege BGB FB Stäbe, Preisbasis 2021

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontier t €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	0 €	0 €	0 €
Rückschnitt per Hand	alle Jahre	1	25	5 €	206 €	4125 €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	5 €	206 €	4 125 €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5 €	13 €	130 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3 €	74 €	742 €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	280 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						9122 €

Es wird nach Häufigkeit und Zeitpunkt, in dem die Kosten auftreten, unterschieden. Die „Wartung“ der Rankhilfe wird z.B. jedes Jahr und über den gesamten Lebenszyklus hinweg durchgeführt. Die „Bewässerung“ wird zwar auch jährlich berücksichtigt, endet aber nach vier Jahren, da der Verwurzelungsprozess abgeschlossen ist und die Pflanzen dann in der Lage sind, sich selbst mit Wasser über das Erdreich zu versorgen. Die Instandsetzungsmaßnahmen werden immer dann berücksichtigt, wenn die Lebenszeit der einzelnen Komponenten kürzer ist als der Betrachtungshorizont.

Die Rankhilfe hat eine durchschnittliche Lebensdauer von 40 Jahren. Da unser Betrachtungszeitraum aber nur 25 Jahre beträgt, muss die Rankhilfe nicht getauscht werden und es fallen daher keine Kosten an. Um die Gesamtkosten einer jeweiligen Kostenstelle zu ermitteln, wird zunächst, wie in Kapitel 4.5 beschrieben, die Diskontierung für beide Zeitpunkte (erst- und letztmögliches Auftreten) berechnet und darauf ein Mittelwert gebildet. Im Anschluss wird das Mittel der Diskontierung mit der Häufigkeit des Auftretens (z.B. 8x) und mit der jeweiligen Menge (z.B. 20m²) multipliziert.

6.6.3 Abbruch und Entsorgung von bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe

Bei der Ermittlung der Kosten bezüglich Entsorgung und Abbruch wird analog zu Kapitel 6.6.1 und 6.6.2 vorgegangen. Die Einheitspreise werden diskontiert und mit der Menge multipliziert, um auf die Gesamtkosten der jeweiligen Kostenstelle zu kommen.

Tabelle 17: Abbruch und Entsorgung BGB FB Stäbe, Preisbasis 2021

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5 €	11 €	227 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5 €	11 €	227 €
Gesamtkosten Entsorgung						453 €
Gesamtkosten						19 053 €

6.6.4 Lebenszykluskosten von bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Stäben als Rankhilfe

Die Gesamtkosten aus Kapitel 6.6.1, 6.6.2 und 6.6.3 ergeben in Summe die Lebenszykluskosten. Für die untersuchte 20m² große bodengebundene Fassadenbegrünung mit Stäben als Rankhilfe ergibt sich ein Wert von 20.474,86 €. Die Ergebnisse der weiteren Begrünungssysteme sind in Tabelle 18 (siehe Kapitel 6.6.5) angeführt.

6.6.5 Lebenszykluskosten verschiedener Begrünungssysteme

Die Berechnung der weiteren Begrünungssysteme erfolgt analog zu den Ausführungen in Kapitel 6.6.1 - 6.6.4. Die Ergebnisse sind der Tabelle 18 zu entnehmen. Die genauen Berechnungen liegen den Anhängen A1-13 bei.

Tabelle 18: LZC-Begrünungssysteme, Preisbasis 2021

Systembeschreibung	Planung	Errichtung	Nutzungsphase	Rückbau	LZK
Bodengebundene FB - ohne Rankhilfen	507 €	3 378 €	4 997 €	227 €	9 109 €
Bodengebundene FB - Gitter Rankhilfe	1 572 €	10 478 €	9 122 €	453 €	21 625 €
Bodengebundene FB - Stäbe Rankhilfe	1 422 €	9 478 €	9 122 €	453 €	20 475 €
Bodengebundene FB - Netze Rankhilfe	1 332 €	8 878 €	9 947 €	453 €	20 610 €
Bodengebundene FB - Seile Rankhilfe	1 302 €	8 678 €	11 597 €	453 €	22 010 €
Bodengebundene FB - Trog, ohne Rankhilfen	2 849 €	18 990 €	9 799 €	227 €	31 863 €
Bodengebundene FB - Trog, Gitter Rankhilfe	3 873 €	25 820 €	13 923 €	453 €	44 069 €
Bodengebundene FB - Trog, Stäbe Rankhilfe	3 723 €	24 820 €	13 923 €	453 €	42 919 €
Bodengebundene FB - Trog, Netze Rankhilfe	3 633 €	24 220 €	14 748 €	453 €	43 054 €
Bodengebundene FB - Trog, Seile Rankhilfe	3 603 €	24 020 €	16 398 €	453 €	44 474 €
Vollflächigem Vegetationsträger System-Typ 90DEGREEN	2 788 €	18 585 €	65 682 €	1 337 €	88 392 €
Vollflächigem Vegetationsträger Baukastensystem - Vertical Garden Service	2 641 €	17 610 €	67 971 €	1 337 €	89 558 €
Teilflächiger Vegetationsträger System-Typ Grünwand (TechMetall)	2 641 €	17 607 €	63 945 €	1 337 €	85 530 €

In Abbildung 16 werden die Systeme mit den Gesamtkosten und den Kosten der jeweiligen Phasen dargestellt. Der große Unterschied zwischen den bodengebundenen- und den fassadengebundenen Systemen in Bezug auf die Lebenszykluskosten ist ersichtlich. Dieser lässt sich durch die erhöhten Instandhaltungs- und Pflegekosten erklären. Da die bodengebundenen Begrünungen im betrachteten System nur zwei Meter über den Boden wachsen, punkten diese mit einem sehr günstigen Pflegeaufwendungen. Die fassadengebundenen Begrünungssysteme sind im Vergleich dazu aber teuer. Des Weiteren ist erkennbar, dass die am Boden befindlichen Trogsysteme in den Herstellkosten zwar teurer, jedoch in der Nutzungsphase wesentlich günstiger als die fassadengebundenen Systeme sind. Die Rückbaukosten sind nach Angaben der Experten bei allen Systemen in etwa gleich hoch.

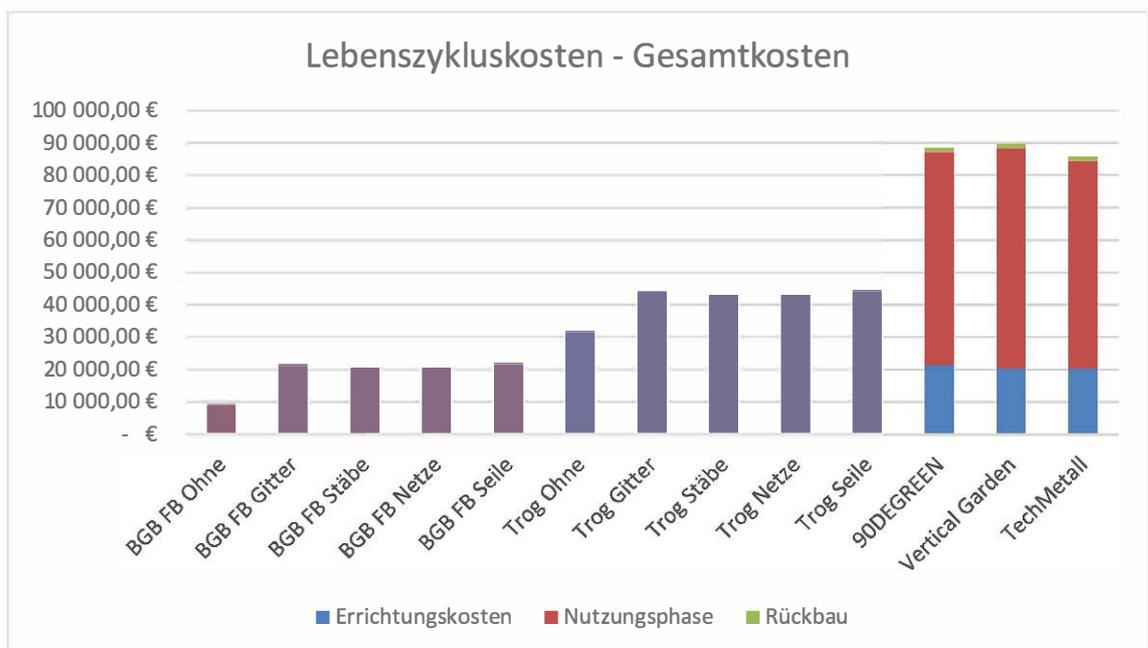


Abbildung 16: LZK - Gesamtkosten

7 Schlussfolgerung

Um die Forschungsfrage bezüglich der Machbarkeit bzw. der Umsetzbarkeit von grüner Infrastruktur an Schulen zu beantworten, wurden in dieser Arbeit zunächst ein Fallbeispiel analysiert sowie die Rahmenbedingungen für die Umsetzung und deren Machbarkeit für andere Schulen eruiert, um anschließend aus den gewonnenen Erkenntnissen Umsetzungsszenarien zu entwickeln. Die Umsetzungsszenarien sollen so viele Randbedingungen wie möglich einhalten. Aus Kostengründen wurde der Fokus dabei auf Begrünungen gelegt, die die Schüler*innen in eigener Anfertigung und kostengünstig herstellen („Low-Cost-Begrünungen“) können. Um die Vorteile verschiedener Kompetenzen aufgrund verschiedener Fachbereiche der Schulen zu nutzen sowie dahingehend Synergien herzustellen, wird die Zusammenarbeit verschiedener Schulen angestrebt. Aus der Untersuchung geht hervor, dass verschiedene Faktoren für die Umsetzung derartiger Begrünungen in Schulen ausschlaggebend sind. Dazu zählen (bau)rechtliche Bedingungen, finanzielle Ressourcen aber auch sogenannte „strukturelle“ Rahmenbedingungen. Dazu gehören Fachwissen, gestalterische Fertigkeiten, zeitliche Ressourcen und sowie eine tiefgehende Vernetzung der Beteiligten. Diese Arbeit kommt zum Ergebnis, dass bei einer Einhaltung von (bau)rechtlichen Rahmenbedingungen als Voraussetzung, die Anschaffung einer Vernetzungsplattform die Umsetzung von Begrünungen an Schulen erleichtert und damit auch die Umsetzbarkeit vergrößert. Die Vernetzungsplattform bündelt nämlich die zeitlichen bzw. finanziellen Ressourcen und hält sie aufgrund der Aufteilung der Kompetenzen und der Aufgaben auf die Beteiligten bzw. Stakeholder*innen auf ein Minimum. Auf diesem Weg werden Ressourcen gespart und außerdem eine Struktur geschaffen, in dem sich mehrere Umsetzungsszenarien herausbilden können: Mit dem „Croudsourcing“ kommt auch das „Sharing-Konzept“ (engl. to share „teilen“) zum Tragen. Infolgedessen „sharen“ die Beteiligten Wissen, erprobte Projekte, Baumaterialien, Ideen und geben („sourcen“) Aufgaben an die „Croud“ ab, was eine erhebliche Kostenreduktion ermöglicht. Aufgrund der Vernetzung zwischen den Schulen und dem Austausch über bereits erfolgte Projekte, kommt es infolge des Werbeeffektes zu einer größeren Anteilnahme und zur Kettenbildung, also zum „Croudwinning“ und „Chainbuilding“. Die Vernetzungsplattform begünstigt darüber hinaus eventuelle Förderungs- bzw.

Finanzierungsprozesse zwischen den Beteiligten, indem eine effiziente Abwicklung bzw. ein effizienter Geldfluss über die Vereinsstruktur von Schulen geschaffen wird.

8 Ausblick

Dass Begrünungen eine positive Auswirkung auf Behaglichkeit, Raum- und Außenklima oder Ästhetik haben, konnte bereits in mehreren Studien nachgewiesen werden. Insofern können Innen- oder Außenraumbegrünungen in Schulen zu einer Verbesserung der Luftqualität führen, Schadstoffe binden, schallreduzierend wirken und damit die Lern- und Lebensqualität von Schülern positiv beeinflussen.

Die Umsetzung von Begrünungen in Schulen scheitert häufig an mangelnden Finanzierungen. Das Forschungsprojekt „MehrGrüneSchulen“, unter der Projektleitung der Technischen Universität Wien, widmet sich diesem Thema mit dem Ziel, Umsetzungs- und Finanzierungsstrategien zu entwickeln, um die Anzahl an Begrünungsprojekten an Schulen zu steigern. Im Rahmen des Forschungsprojektes will diese Arbeit Konzepte skizzieren, die zur Verwirklichung und zu Finanzierungsmöglichkeiten von Raumbegrünungen, speziell von „Do-it-Yourself“- bzw. Low-Cost-Begrünungen, führen. Die eindeutige Umsetzung der in dieser Arbeit herausgefilterten Konzepte und Szenarien sind nicht Inhalt dieser Arbeit. Demnach bietet diese Arbeit die Vernetzungsplattform als Option zur Lösung der Problematik an. Hierbei wurde lediglich ein Konzept herausgearbeitet. Die Umsetzung der Plattform in Form einer Peer-to Peer-Plattform muss schlussendlich erprobt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Plattform so aufgearbeitet wird, dass sich die Umsetzungsszenarien „Croudsourcing“, „Chainbuilding“ und „Crouwinig“ am besten herausbilden können. Dies wird mit einer Bildfläche produziert, die den bestmöglichen Austausch von diversen Nutzern (I-P-A, siehe Kapitel 5.4) ermöglicht. Die Erprobung müsste zwischen mehreren Schulen verschiedener Kompetenzen (z.B. Gymnasium, HTL und Gartenbauschule) und den Stakeholdern (z.B. Förderer, Firma) stattfinden. Ergebnisse sollten dokumentiert, analysiert und optimiert werden. Nur dann ist eine funktionierende Plattform möglich und damit auch das Schaffen von mehreren Begrünungen an Schulen.

9 Anhang

9.1 Anhang A: Lebenszykluskosten Fassadenbegrünungen

Bodengebunden Aushub, OHNE Rankhilfe						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1,00	1,00 €	10,00 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150,00	150,00 €	450,00 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60,00	60,00 €	288,00 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170,00	170,00 €	1 020,00 €
Gesamterrichtungskosten						3 378,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1,00 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						1 193,27 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						226,64 €
Gesamtkosten						4 797,91 €

Bodengebunden Aushub, MIT Rankhilfe (Gitter)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	190,00	190,00 €	3 800,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	140,00	140,00 €	2 800,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1,00	1,00 €	10,00 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150,00	150,00 €	720,00 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60,00	60,00 €	288,00 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170,00	170,00 €	1 020,00 €
Gesamterrichtungskosten						10 478,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	0	3	5,00 €	21,03 €	420,63 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	5,00 €	206,23 €	4 124,54 €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	330,00 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1,00 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						5 417,98 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						16 349,25 €

Bodengebunden Aushub, MIT Rankhilfe (Stäbe)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	160,00	160,00 €	3 200,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	120,00	120,00 €	2 400,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1,00	1,00 €	10,00 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150,00	150,00 €	720,00 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60,00	60,00 €	288,00 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170,00	170,00 €	1 020,00 €
Gesamterrichtungskosten						9 478,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	0	3	5,00 €	21,03 €	420,63 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	5,00 €	206,23 €	4 124,54 €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	280,00 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1,00 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						5 417,98 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						15 349,25 €

Bodengebunden Aushub, MIT Rankhilfe (Netze)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	110,00	110,00 €	2 200,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	140,00	140,00 €	2 800,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1,00	1,00 €	10,00 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150,00	150,00 €	720,00 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60,00	60,00 €	288,00 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170,00	170,00 €	1 020,00 €
Gesamterrichtungskosten						8 878,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	0	3	5,00 €	21,03 €	420,63 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	6,00 €	247,47 €	4 949,45 €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	250,00 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1,00 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						6 242,89 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						15 574,16 €

Bodengebunden Aushub, MIT Rankhilfe Seile						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen pro lfm	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste (Nur Material)	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Substrat in lfm	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	130,00	130,00 €	2 600,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	110,00	110,00 €	2 200,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Filtervlies pro lfm	einmalig	0	0	1,00	1,00 €	10,00 €
Anlieferung Substrat pro m ³	einmalig	0	0	150,00	150,00 €	720,00 €
Gerätekosten Bagger (Miete + Anlieferung) pro m ²	einmalig	0	0	60,00	60,00 €	288,00 €
Personalkosten (Aushub Boden + Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	170,00	170,00 €	1 020,00 €
Gesamterrichtungskosten						8 678,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	0	3	5,00 €	21,03 €	420,63 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	8,00 €	329,96 €	6 599,26 €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	250,00 €	- €	- €
Filtervlies	alle 50 Jahre	1	25	1,00 €	- €	- €
Substrat	alle 50 Jahre	1	25	150,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						7 892,70 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						17 023,97 €

Bodengebunden TROG, OHNE Rankhilfe						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Trog	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	15 000,00 €
Dichtfolie	einmalig	0	0	8,00	8,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Anlieferung Trog und Substrat	einmalig	0	0	30,00	30,00 €	300,00 €
Personalkosten (Aufstellung Trog+Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	200,00	200,00 €	2 000,00 €
Gesamterrichtungskosten						18 990,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	5	25	5,00 €	- €	- €
Trog	alle 25 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Dichtfolie	alle 12 Jahre	1	25	2,50 €	8,25 €	82,49 €

Substrat	alle 12 Jahre	1	25	143,00 €	471,85 €	4 718,47 €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						5 994,23 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						226,64 €
Gesamtkosten						25 210,87 €

Bodengebunden TROG, MIT Rankhilfe Gitter						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	190,00	190,00 €	3 800,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	140,00	140,00 €	2 800,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Trog	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	15 000,00 €
Dichtfolie	einmalig	0	0	8,00	8,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Anlieferung Trog und Substrat	einmalig	0	0	30,00	30,00 €	300,00 €
Personalkosten (Aufstellung Trog+Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	200,00	200,00 €	2 000,00 €
Gesamterrichtungskosten						25 820,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	5,00 €	206,23 €	4 124,54 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	5	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	330,00 €	- €	- €
Trog	alle 25 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Dichtfolie	alle 12 Jahre	1	25	2,50 €	8,25 €	82,49 €
Substrat	alle 12 Jahre	1	25	143,00 €	471,85 €	4 718,47 €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						10 118,77 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						36 392,05 €

Bodengebunden TROG, MIT Rankhilfe Stäben						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	160,00	160,00 €	3 200,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	120,00	120,00 €	2 400,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Trog	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	15 000,00 €
Dichtfolie	einmalig	0	0	8,00	8,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Anlieferung Trog und Substrat	einmalig	0	0	30,00	30,00 €	300,00 €
Personalkosten (Aufstellung Trog+Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	200,00	200,00 €	2 000,00 €
Gesamterrichtungskosten						24 820,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	5,00 €	206,23 €	4 124,54 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	5	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	280,00 €	- €	- €
Trog	alle 25 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Dichtfolie	alle 12 Jahre	1	25	2,50 €	8,25 €	82,49 €
Substrat	alle 12 Jahre	1	25	143,00 €	471,85 €	4 718,47 €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						10 118,77 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						35 392,05 €

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Bodengebunden TROG, MIT Rankhilfe Netze						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	110,00	110,00 €	2 200,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	140,00	140,00 €	2 800,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Trog	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	15 000,00 €
Dichtfolie	einmalig	0	0	8,00	8,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Anlieferung Trog und Substrat	einmalig	0	0	30,00	30,00 €	300,00 €
Personalkosten (Aufstellung Trog+Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	200,00	200,00 €	2 000,00 €
Gesamterrichtungskosten						24 220,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	6,00 €	247,47 €	4 949,45 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	5	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	250,00 €	- €	- €
Trog	alle 25 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Dichtfolie	alle 12 Jahre	1	25	2,50 €	8,25 €	82,49 €
Substrat	alle 12 Jahre	1	25	143,00 €	471,85 €	4 718,47 €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						10 943,68 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						35 616,95 €

Bodengebunden TROG, MIT Rankhilfe Seile						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/EH	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	26,00	26,00 €	260,00 €
Überwuchsleiste	einmalig	0	0	55,00	55,00 €	550,00 €
Rankhilfe	einmalig	0	0	130,00	130,00 €	2 600,00 €
Personalkosten Montage Rankhilfe	einmalig	0	0	110,00	110,00 €	2 200,00 €
Befestigungsanker	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	230,00 €
Trog	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	15 000,00 €
Dichtfolie	einmalig	0	0	8,00	8,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	800,00 €
Anlieferung Trog und Substrat	einmalig	0	0	30,00	30,00 €	300,00 €
Personalkosten (Aufstellung Trog+Befüllung mit Substrat)	einmalig	0	0	200,00	200,00 €	2 000,00 €
Gesamterrichtungskosten						24 020,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	1-2x jährlich	1	25	- €	- €	- €
Rückschnitt per Hand	alle 1 Jahre	1	3	5,00 €	16,02 €	320,46 €
Rückschnitt Anlegeleiter	alle 1 Jahre	3	10	- €	- €	- €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Wuchshöhe) inkl. Miete	alle 2 Jahre	10	25	- €	- €	- €
Bewässerung inkl. Wasser	jährlich	1	4	5,00 €	13,04 €	130,39 €
Düngung inkl. Dünger	jährlich	1	25	3,00 €	74,24 €	742,42 €
Wartung Rankhilfe	jährlich	1	25	8,00 €	329,96 €	6 599,26 €

Überwuchsleiste	alle 30 Jahre	1	25	5,00 €	- €	- €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	5	25	5,00 €	- €	- €
Rankhilfe	alle 40 Jahre	1	25	240,00 €	- €	- €
Trog	alle 25 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Dichtfolie	alle 12 Jahre	1	25	2,50 €	8,25 €	82,49 €
Substrat	alle 12 Jahre	1	25	143,00 €	471,85 €	4 718,47 €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						12 593,50 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Abbruch und Entsorgung der Rankhilfen	einmalig	25	25	5,00 €	11,33 €	226,64 €
Gesamtkosten Entsorgung						453,27 €
Gesamtkosten						37 066,77 €

Wandgebundene Vertikalbegrünung (90 DEGreen)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		m ²				
		von Jahr	bis Jahr			
Pflanzen	einmalig	0	0	96,00	96,00 €	1 920,00 €
Zweischichtvlies	einmalig	0	0	25,00	25,00 €	500,00 €
Tropfschläuche	einmalig	0	0	35,00	35,00 €	700,00 €
Zuleitung	einmalig	0	0	1500,00	1 500,00 €	1 500,00 €
Bewässerungscomputer	einmalig	0	0	400,00	400,00 €	400,00 €
Magnetventil	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	80,00 €
Tropftasse	einmalig	0	0	96,00	96,00 €	96,00 €
Erdfreie Pflanzenfasermatte	einmalig	0	0	54,00	54,00 €	1 080,00 €
Aluminium Trapezprofil	einmalig	0	0	400,00	400,00 €	8 000,00 €
Tragkonstruktion inkl. Wärmeisolationsträgerplatte	einmalig	0	0	87,00	87,00 €	1 740,00 €
Seitliche Abschlüsse	einmalig	0	0	70,00	70,00 €	70,00 €
Fenstereinfassung	einmalig	0	0	112,00	112,00 €	112,00 €
Lüftungsgitter	einmalig	0	0	80,00	80,00 €	80,00 €
Personalkosten - 1 x Errichtung Facharbeiter System	einmalig	0	0	23,00	23,00 €	460,00 €
Personalkosten - 1 x Errichtung Helfer System	einmalig	0	0	17,33	17,33 €	346,60 €
Personalkosten - 1 x Landschaftsbauer - Facharbeiter - Errichtung	einmalig	0	0	20,00	20,00 €	400,00 €
Personalkosten - 1 x Landschaftsbauer - Helfer - Errichtung	einmalig	0	0	15,00	15,00 €	300,00 €
Gerätekosten - Errichtung	einmalig	0	0	40,00	40,00 €	800,00 €
Gesamterrichtungskosten						18 584,60 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		m ²				
		von Jahr	bis Jahr			
Sichtkontrolle	jährlich	1	25	10,00 €	395,96 €	7 919,12 €
Rückschnitt ohne Hubsteiger (geringe Bauhöhe)	jährlich	1	25	50,00 €	1 979,78 €	39 595,58 €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Bauhöhe)	jährlich	1	25	- €	- €	- €
inkl. Miete Hubsteiger	jährlich	1	25	- €	- €	- €
Bewässerung	jährlich	1	25	3,90 €	154,42 €	3 088,46 €
Düngen	jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Bewässerungscomputer inkl. Personalkosten	Jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 20 Jahre	1	25	96,00 €	158,38 €	3 167,65 €
Zweischichtvlies	alle 40 Jahre	1	25	25,00 €	- €	- €
Erdfreie Pflanzenfasermatte	alle 20 Jahre	1	25	54,00 €	89,09 €	1 781,80 €

Tropfschläuche	alle 15 Jahre	1	25	35,00 €	57,74 €	1 154,87 €
Zuleitung	alle 30 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Bewässerungscomputer	alle 15 Jahre	1	25	400,00 €	659,93 €	659,93 €
Magnetventil	alle 8 Jahre	1	25	80,00 €	395,96 €	395,96 €
Aluminium Trapezprofil	alle 40 Jahre	1	25	400,00 €	- €	- €
Tragkonstruktion inkl. Wärmeisolationsträgerplatte	alle 30 Jahre	1	25	87,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						65 682,47 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch Fassade (Personal- und Werkzeugkosten)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Entsorgung (Vlies + Substrat + Pflanzen)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Komponenten trennen - Zeitaufwand	einmalig	25	25	6,00 €	13,60 €	271,96 €
Deponie Kosten	einmalig	25	25	2,00 €	4,53 €	90,65 €
Pflanzen Kompost	einmalig	25	25	1,50 €	3,40 €	67,99 €
Leitungen entsorgen	einmalig	25	25	1,00 €	2,27 €	45,33 €
Kunststoffe entsorgen	einmalig	25	25	3,00 €	6,80 €	135,98 €
Gesamtkosten Entsorgung						1 337,15 €
Gesamtkosten						85 604,23 €

Wandgebundene Vertikalbegrünung (Vertical Garden Service)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
		Pflanzen	einmalig			
Abdeckvlies	einmalig	0	0	2,50	2,50 €	50,00 €
Tropfschläuche	einmalig	0	0	14,00	14,00 €	280,00 €
Zuleitung	einmalig	0	0	50,00	50,00 €	1 000,00 €
Bewässerungscomputer	einmalig	0	0	380,00	380,00 €	380,00 €
Magnetventi	einmalig	0	0	89,00	89,00 €	89,00 €
Spezialschaumstoff	einmalig	0	0	143,00	143,00 €	2 860,00 €
Modul (Aluminiumkonstruktion)	einmalig	0	0	195,00	195,00 €	3 900,00 €
Agraffenprofil + L-Profil + Konsole + Unterkonstruktion	einmalig	0	0	62,00	62,00 €	1 240,00 €
Druckminderer	einmalig	0	0	110,00	110,00 €	110,00 €
Personalkosten - Montage + Bepflanzung	einmalig	0	0	105,00	105,00 €	2 100,00 €
Gerätekosten - Errichtung	einmalig	0	0	40,00	40,00 €	800,00 €
Gesamterrichtungskosten						17 609,00 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
		Sichtkontrolle	jährlich			
Rückschnitt ohne Hubsteiger (geringe Bauhöhe)	jährlich	1	25	50,00 €	1 979,78 €	39 595,58 €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Bauhöhe)	jährlich	1	25	- €	- €	- €
inkl. Miete Hubsteiger	jährlich	1	25	- €	- €	- €
Bewässerung	jährlich	1	25	3,90 €	154,42 €	3 088,46 €
Düngen	jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Bewässerungscomputer inkl. Personalkosten	Jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 25 Jahre	1	25	240,00 €	395,96 €	7 919,12 €
Abdeckvlies	alle 40 Jahre	1	25	2,50 €	- €	- €
Spezialschaumstoff, Stärke:130mm	alle 40 Jahre	1	25	143,00 €	- €	- €
Tropfschläuche	alle 15 Jahre	1	25	14,00 €	23,10 €	461,95 €
Zuleitung	alle 30 Jahre	1	25	50,00 €	- €	- €
Bewässerungscomputer	alle 15 Jahre	1	25	380,00 €	626,93 €	626,93 €
Magnetventil	alle 8 Jahre	1	25	89,00 €	440,50 €	440,50 €
Modul aus AlMg3	alle 40 Jahre	1	25	195,00 €	- €	- €

Agraffenprofil + L-Profil + Konsole + Unterkonstruktion	alle 40 Jahre	1	25	62,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						67 970,77 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch Fassade (Personal- und Werkzeugkosten)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Entsorgung (Vlies + Substrat + Pflanzen)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Komponenten trennen - Zeitaufwand	einmalig	25	25	6,00 €	13,60 €	271,96 €
Deponie Kosten	einmalig	25	25	2,00 €	4,53 €	90,65 €
Pflanzen Kompost	einmalig	25	25	1,50 €	3,40 €	67,99 €
Leitungen entsorgen	einmalig	25	25	1,00 €	2,27 €	45,33 €
Kunststoffe entsorgen	einmalig	25	25	3,00 €	6,80 €	135,98 €
Gesamtkosten Entsorgung						1 337,15 €
Gesamtkosten						86 916,92 €

Wandgebundene Vertikalbegrünung (TechMetal)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
		m2				
Pflanzen	einmalig	0	0	96,00 €	96,00 €	1 920,00 €
Aluminiumtrog	einmalig	0	0	400,00 €	400,00 €	8 000,00 €
Tropfschläuche	einmalig	0	0	35,00 €	35,00 €	700,00 €
Zuleitung	einmalig	0	0	1 500,00 €	1 500,00 €	1 500,00 €
Bewässerungscomputer	einmalig	0	0	400,00 €	400,00 €	400,00 €
Magnetventil	einmalig	0	0	80,00 €	80,00 €	80,00 €
Substrat	einmalig	0	0	10,00 €	10,00 €	200,00 €
Multifunktionsvlies	einmalig	0	0	25,00 €	25,00 €	500,00 €
Tragkonstruktion	einmalig	0	0	100,00 €	100,00 €	2 000,00 €
Personalkosten - 1 x Errichtung Facharbeiter System	einmalig	0	0	23,00 €	23,00 €	460,00 €
Personalkosten - 1 x Errichtung Helfer System	einmalig	0	0	17,33 €	17,33 €	346,60 €
Personalkosten - 1 x Landschaftsbauer - Facharbeiter - Errichtung	einmalig	0	0	20,00 €	20,00 €	400,00 €
Personalkosten - 1 x Landschaftsbauer - Helfer - Errichtung	einmalig	0	0	15,00 €	15,00 €	300,00 €
Gerätekosten - Errichtung	einmalig	0	0	40,00 €	40,00 €	800,00 €
Gesamterrichtungskosten						17 606,60 €

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
		m2				
Sichtkontrolle	jährlich	1	25	10,00 €	395,96 €	7 919,12 €
Rückschnitt ohne Hubsteiger (geringe Bauhöhe)	jährlich	1	25	50,00 €	1 979,78 €	39 595,58 €
Rückschnitt mit Hubsteiger (große Bauhöhe)	jährlich	1	25	- €	- €	- €
inkl. Miete Hubsteiger	jährlich	1	25	- €	- €	- €
Bewässerung	jährlich	1	25	3,90 €	154,42 €	3 088,46 €
Düngen	jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Bewässerungscomputer inkl. Personalkosten	Jährlich	1	25	5,00 €	197,98 €	3 959,56 €
Pflanzen (Nachpflanzen)	alle 20 Jahre	1	25	96,00 €	158,38 €	3 167,65 €
Trog aus AlMg3	alle 40 Jahre	1	25	400,00 €	- €	- €
Edelstahltrug mit Brandschürze	alle 40 Jahre	1	25	143,00 €	- €	- €
Bewässerungsschlauch PE16	alle 15 Jahre	1	25	35,00 €	57,74 €	1 154,87 €
Zuleitung	alle 30 Jahre	1	25	1 500,00 €	- €	- €
Bewässerungscomputer	alle 15 Jahre	1	25	400,00 €	659,93 €	659,93 €
Magnetventil	alle 8 Jahre	1	25	89,00 €	440,50 €	440,50 €

Multifunktionsvlies	alle 40 Jahre	1	25	25,00 €	- €	- €
Tragkonstruktion	alle 30 Jahre	1	25	100,00 €	- €	- €
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung & Erneuerung						63 945,22 €

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch Fassade (Personal- und Werkzeugkosten)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Entsorgung (Vlies + Substrat + Pflanzen)	einmalig	25	25	8,00 €	18,13 €	362,62 €
Komponenten trennen - Zeitaufwand	einmalig	25	25	6,00 €	13,60 €	271,96 €
Deponie Kosten	einmalig	25	25	2,00 €	4,53 €	90,65 €
Pflanzen Kompost	einmalig	25	25	1,50 €	3,40 €	67,99 €
Leitungen entsorgen	einmalig	25	25	1,00 €	2,27 €	45,33 €
Kunststoffe entsorgen	einmalig	25	25	3,00 €	6,80 €	135,98 €
Gesamtkosten Entsorgung						1 337,15 €
Gesamtkosten						82 888,97 €

9.2 Anahng B: Schüler*innen Entwürder der Low-Cost Begrünungen



Abbildung 17: Green Domino



Abbildung 18: Green Cloud



Abbildung 19: Mobile Trennwand

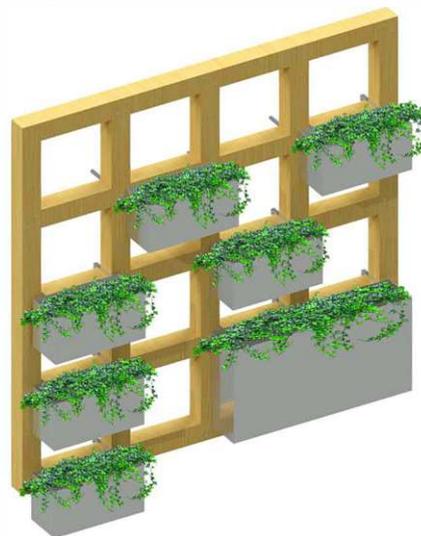


Abbildung 20: Modulare Wand



Abbildung 21: Green Trio



Abbildung 22: T-Bench



Abbildung 23: The Vessel



Abbildung 24: Green Classroom



Abbildung 25: Begrünter Brunnen



Abbildung 26: Place Evergreen Relax



Abbildung 27: Place Evergreen Spielplatz

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschlossenes Begrünungssystem.....	9
Abbildung 2: Offenes Begrünungssystem.....	10
Abbildung 3: Trogsystem [56]	10
Abbildung 4: Vliessystem [56]	11
Abbildung 5: Ranksysteme [57].....	12
Abbildung 6: Dachgarten [59].....	13
Abbildung 7: Dachbegrünung extensiv [60].....	14
Abbildung 8: Einteilung der Fassadenbegrünungen [60].....	14
Abbildung 9: Kasettensystem [56].....	15
Abbildung 10: Pergola [56].....	16
Abbildung 11: Lichtintensität in Zusammenhang mit dem Fensterabstand [62]	20
Abbildung 12: Zuständigkeiten im Schulbereich [65].....	28
Abbildung 13: Erforderliche Komponenten für ein Projekt.....	46
Abbildung 14: Vernetzungsplattform.....	49
Abbildung 15: Umsetzungsszenario.....	51
Abbildung 16: LZK - Gesamtkosten.....	60
Abbildung 17: Green Domino	90
Abbildung 18: Green Cloud	90
Abbildung 19: Mobile Trennwand.....	90
Abbildung 20: Modulare Wand.....	90
Abbildung 21: Green Trio.....	90
Abbildung 22: T-Bench.....	91
Abbildung 23: The Vessel.....	91
Abbildung 24: Green Classroom.....	91
Abbildung 25: Begrünter Brunnen.....	92
Abbildung 26: Place Evergreen Relax.....	92
Abbildung 27:Place Evergreen Spielplatz.....	92

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lebenszykluskosten "Low - Cost" Begrünungen.....	27
Tabelle 2: Untersuchte Begrünungssysteme	34
Tabelle 3: Ablauf Ereignis	35
Tabelle 4: In Einzelprozesse gegliedertes Input-Output Schaubild, Teil 1	41
Tabelle 5: In Einzelprozesse gegliedertes Input-Output Schaubild, Teil 2	41
Tabelle 6: Input - Output Schaubild des Gesamtprozesses	41
Tabelle 7: In Hauptprozesse gegliedertes Input - Output - Schaubild.....	41
Tabelle 8: Problem und Lösung	47
Tabelle 9: Rahmenbedingungen für Low-Cost-Begrünungen an Schulen	48
Tabelle 10: Parameter Baggerarbeiten	53
Tabelle 11: Parameter Rankhilfen.....	53
Tabelle 12: Parameter Instandhaltung bodengebundene Begrünungssysteme	54
Tabelle 13: Parameter Instandhaltung und Wartung fassadengebundene Begrünungssysteme	54
Tabelle 14: Errichtungskosten BGB FB Stäbe	55
Tabelle 15: Instandhaltung, Wartung und Pflege BGB FB Stäbe.....	56
Tabelle 16: Abbruch und Entsorgung BGB FB Stäbe	57
Tabelle 17: LZC-Begrünungssysteme.....	59

12 Literaturverzeichnis

- [1] Stadt Wien, „Wiener Klimafahrplan“. <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/klimafahrplan/> (zugegriffen 11. Juli 2022).
- [2] Stadt Wien, „SMART CITY“. <https://smartcity.wien.gv.at/strategie/> (zugegriffen 11. Juli 2022).
- [3] Stadt Wien, „Fassadenbegrünung - Vorteile, Beratung und Förderung“. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/gruene-waende.html#:~:text=Die%20Stadt%20Wien%20f%C3%B6rdert%20die,und%20bietet%20Beratung%20bei%20Planungen.> (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [4] Grünstattgrau Forschungs- und Innovations GmbH, „GRÜNSTATTGRAU“. <https://gruenstattgrau.at/>
- [5] Greenpass GmbH, „GREENPASS GmbH“. <https://greenpass.io/de/> (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [6] FLORAWALL GmbH, „Wissenschaftliche Studie zur Wirkanalyse einer Florawall“, FH Burgenland.
- [7] L. Weber, „Einfluss von vertikaler Innenwand-Begrünung auf das Raumklima und Behaglichkeit in Schulen“, S. 95 pages, 2019, doi: 10.34726/HSS.2019.52620.
- [8] J. Hollands und A. Korjenic, „Indirect Economic Effects of Vertical Indoor Green in the Context of Reduced Sick Leave in Offices“, Sustainability, Bd. 13, Nr. 4, S. 2256, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042256.
- [9] DGUV - Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, „Klasse(n) - Räume für Schulen - Empfehlungen für gesundheits- und lernfördernde Klassenzimmer“, 202-090, Januar 2012. Zugegriffen: 7. Juni 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/20>
- [10] T. Fjeld, „The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children“, horttech, Bd. 10, Nr. 1, S. 46–52, Jan. 2000, doi: 10.21273/HORTTECH.10.1.46.
- [11] M. Thönnessen, „Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegrünenden Wilden Weines (Parthenocissus tricuspidata)“, UWSF - Z Umweltchem Ökotox, Bd. 18, Nr. 1, S. 5, Feb. 2006, doi: 10.1065/uwsf2005.11.108.
- [12] M. Köhler und F. Milbrand, „Mit Living Walls zur Lärmreduktion“, Hochschule Neubrandenburg, 2012.
- [13] J. Forssén, „HOSANNA - Holistic and sustainable abatement of noise by optimized combinations of natural and artificial means“, Chalmers University of Technology, 2013.
- [14] Smart Cities Initiative, „MehrGrüneSchulen - Finanzierungsmodelle für grüne Infrastruktur an Schulen“. <https://smartcities.at/projects/mehrgrueneschulen/> (zugegriffen 1. März 2022).
- [15] Wikipedia, „Begrünung“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Begr%C3%BCnung> (zugegriffen 6. August 2022).
- [16] Wikipedia, „Bauwerksbegrünung“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerksbegr%C3%BCnung> (zugegriffen 7. Juni 2022).
- [17] Wikipedia, „Zimmerpflanze“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Zimmerpflanze#:~:text=Die%20%C3%84gypte>

- r%20der%20Antike%20zogen,damals%20Wohnr%C3%A4ume%20zierte%20C%20ist%20unbekannt. (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [18] scinexx, das Wissensmagazin, „Ägyptischer Totengarten entdeckt“. <https://www.scinexx.de/news/geowissen/aegyptischer-totengarten-entdeckt/> (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [19] Wikipedia, „Geschichte der Gartenkunst“. https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Gartenkunst (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [20] L. Akantisz, „Begrünung in Innenräumen - Systementwurf und seine Auswirkungen auf Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit“, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien, 2021.
- [21] J. Ahrendt, „Historische Gründächer - Ihre Entwicklung bis zur Erfindung des Eisenbetons“, Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin, 2007.
- [22] ÖkoKauf Wien, Arbeitsgruppe 25, „Leitfaden Fassadenbegrünung“, Magistrat der Stadt Wien, Programm für umweltgerechte Leistungen, Wien, Leitfaden.
- [23] A. Brugger, „Naturführer für den Biologie und Umweltkundeunterricht im Freien“, Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, 2017.
- [24] Gothein, Marie Luise, Indische Gärten: mit 71 Abbildungen. München [u.a.]: NN, 1926. doi: 10.11588/DIGLIT.17363.
- [25] K. Brodersen, Das römische Britannien: Spuren seiner Geschichte. Darmstadt: Wiss. Buchges, 1998.
- [26] G. Simon, „Vertical Green : Risiken und Chancen von Fassadenbegrünung im urbanen Raum und der Vergleich von vertikalen Begrünungssystemen“, S. 175 pages, 2020, doi: 10.34726/HSS.2020.78803.
- [27] J. Harvey, Mediaeval gardens. London: B.T. Batsford, 1981.
- [28] Wikipedia, „Orangerie“. Zugegriffen: 7. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Orangerie>
- [29] Umwelt Bundesamt, „Sick Building Syndrom“, Dessau-Roßlau. Zugegriffen: 8. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltmedizin/sick-building-syndrom#:~:text=Krank%20in%20einem%20%E2%80%9Ekrankmachende n%E2%80%9C%20Geb%C3%A4ude,B%C3%BCro%20verlassen%20haben%20krank%20f%C3%BChlen.>
- [30] Wikipedia, „Sick-Building-Syndrom“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Sick-Building-Syndrom> (zugegriffen 8. Juli 2022).
- [31] Wikipedia, „Healthy building“. https://en.wikipedia.org/wiki/Healthy_building (zugegriffen 8. Juli 2022).
- [32] S. Holzmüller, „Gebäudebegrünungen als eine Strategie zum Entgegenwirken des urbanen Hitzeinseleffekts (UHI-Effekts)“, S. 85 pages, 2019, doi: 10.34726/HSS.2019.65126.
- [33] D. E. Bowler, L. Buyung-Ali, T. M. Knight, und A. S. Pullin, „Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence“, Landscape and Urban Planning, Bd. 97, Nr. 3, S. 147–155, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.05.006.
- [34] J. Bitriol-Frimmel, „Technical measures to reduce the Urban Heat Island effect: theoretical comparison and selected metrological analysis Technische Maßnahmen zur Reduktion des Urban Heat Island Effekts: theoretischer Vergleich und ausgewählte messtechnische Analysen“, S. 100 pages, 2020, doi: 10.34726/HSS.2020.72361.

- [35] Pflanzenforschung.de, „Wie Pflanzen schwitzen“. <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/wie-pflanzen-schwitzen-mechanismus-zum-wassersparen-ent-848#:~:text=Durch%20die%20Transpiration%20k%C3%BChlt%20sich,auch%20das%20globale%20Klima%20moderiert.> (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [36] Wikipedia, „Evaporation“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Evaporation> (zugegriffen 7. Juli 2022).
- [37] S. Herfort, S. Tschuikowa, und A. Ibañez, „CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen“, Bericht, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F002_co2_bindung.pdf
- [38] F. Bartfelder und M. Köhler, Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen. FU, 1987. [Online]. Verfügbar unter: <https://books.google.at/books?id=zfqNugEACAAJ>
- [39] K. Perini, M. Ottel , E. M. Haas, und R. Raiteri, „Greening the building envelope, facade greening and living wall systems“, OJE, Bd. 01, Nr. 01, S. 1–8, 2011, doi: 10.4236/oje.2011.11001.
- [40] Wikipedia, „Synanthropie“, 6. Oktober 2022. [https://de.wikipedia.org/wiki/Synanthropie#:~:text=Der%20Begriff%20Synanthropie%20\(von%20altgriechisch,Das%20zugeh%C3%B6rige%20Adjektiv%20hei%C3%9Ft%20synanthrop.](https://de.wikipedia.org/wiki/Synanthropie#:~:text=Der%20Begriff%20Synanthropie%20(von%20altgriechisch,Das%20zugeh%C3%B6rige%20Adjektiv%20hei%C3%9Ft%20synanthrop.)
- [41] G. Hancvencl, „Fassadengebundene Vertikalbegrünung - Untersuchung des Makroklimas fassadengebundener Begrünungssysteme“, Masterarbeit, Universität Bodenkultur Wien, 2013.
- [42] F. Florineth, Pflanzen statt Beton: Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin Hannover: Patzer, 2004.
- [43] D. Tudiwer, „Einflüsse vertikaler Gebäudebegrünung auf Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung und hygrothermische Behaglichkeit“, Doktorarbeit, Technische Universität Wien, 2019.
- [44] K.-T. Han, „Influence of Limitedly Visible Leafy Indoor Plants on the Psychology, Behavior, and Health of Students at a Junior High School in Taiwan“, Environment and Behavior, Bd. 41, Nr. 5, S. 658–692, Sep. 2009, doi: 10.1177/0013916508314476.
- [45] Galabau Praxis, „Grünflächen zur Unterstützung schnellerer Gesundheit“. <https://galabau-praxis.de/aktuelles-details/gruenflaechen-zur-unterstuetzung-schnellerer-gesundung> (zugegriffen 5. Juli 2022).
- [46] S. Kaplan, „The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework“, Journal of Environmental Psychology, Bd. 15, Nr. 3, S. 169–182, Sep. 1995, doi: 10.1016/0272-4944(95)90001-2.
- [47] M. B. McCullough, M. D. Martin, und M. A. Sajady, „Implementing Green Walls in Schools“, Front. Psychol., Bd. 9, S. 619, Juni 2018, doi: 10.3389/fpsyg.2018.00619.
- [48] D. Li und W. C. Sullivan, „Impact of views to school landscapes on recovery from stress and mental fatigue“, Landscape and Urban Planning, Bd. 148, S. 149–158, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.12.015.
- [49] R. McCormick, „Does Access to Green Space Impact the Mental Well-being of Children: A Systematic Review“, Journal of Pediatric Nursing, Bd. 37, S. 3–7, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.pedn.2017.08.027.
- [50] I. Altman und J. F. Wohlwill, Hrsg., Behavior and the Natural Environment. Boston, MA: Springer US, 1983. doi: 10.1007/978-1-4613-3539-9.

- [51] N. van den Bogerd u. a., „Greening the classroom: Three field experiments on the effects of indoor nature on students’ attention, well-being, and perceived environmental quality“, *Building and Environment*, Bd. 171, S. 106675, März 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106675.
- [52] N. M. Wells, „At Home with Nature: Effects of “Greenness” on Children’s Cognitive Functioning“, *Environment and Behavior*, Bd. 32, Nr. 6, S. 775–795, Nov. 2000, doi: 10.1177/00139160021972793.
- [53] A. F. Taylor, F. E. Kuo, und W. C. Sullivan, „VIEWS OF NATURE AND SELF-DISCIPLINE: EVIDENCE FROM INNER CITY CHILDREN“, *Journal of Environmental Psychology*, Bd. 22, Nr. 1–2, S. 49–63, März 2002, doi: 10.1006/jevp.2001.0241.
- [54] C.-D. Wu u. a., „Linking Student Performance in Massachusetts Elementary Schools with the “Greenness” of School Surroundings Using Remote Sensing“, *PLoS ONE*, Bd. 9, Nr. 10, S. e108548, Okt. 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0108548.
- [55] C. B. Hodson und H. A. Sander, „Green urban landscapes and school-level academic performance“, *Landscape and Urban Planning*, Bd. 160, S. 16–27, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.11.011.
- [56] M. Francis Norwood, A. Lakhani, und E. Kendall, „Teaching traditional indoor school lessons in nature: The effects on student learning and behaviour“, *Landscape and Urban Planning*, Bd. 206, S. 103963, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103963.
- [57] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), „Innenraumbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen“, Broschüre, 2011.
- [58] TU Wien - Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, „GRÜNEzukunftSCHULEN - Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude“, TU Wien - Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, 92 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://smartcities.at/wp-content/uploads/sites/3/BGR3_2020_GRA%C2%9CNEzukunftSCHULEN-1.pdf
- [59] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), „Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen“, 2018. https://shop.fll.de/de/downloadable/download/sample/sample_id/133/
- [60] Technische Universität Wien, Universität für Bodenkultur Wien, Kräftner Landschaftsarchitektur, und ATB-Becker, „Ein Maßnahmenkatalog für die Begrünung von Schulen im Altbau“, Wien, Katalog, 2018.
- [61] RIS, Schulorganisationsgesetz. 2022. Zugegriffen: 25. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009265>
- [62] Arch. DI Zeininger, „Forschungsprojekt - MehrGrüneSchulen“, 1. Oktober 2021.
- [63] Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung, „Lehrpläne“. <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp.html> (zugegriffen 5. November 2022).
- [64] Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung, „Gesetze und Verordnungen“.

- <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulrecht/gvo.html> (zugegriffen 5. November 2022).
- [65] TÜV Austria, „Spielplatzsicherheit im Wandel der Zeit“. https://www.tuv.at/fileadmin/user_upload/docs/events/hausordnung-04102017/Final_Spielplatzsicherheit_TUV_AUSTRIA_hausordnung_04102017.pdf (zugegriffen 5. November 2022).
- [66] TÜV Süd, „Prüfzeichen für Spielplatzgeräte“. <https://www.tuvsud.com/de-at/dienstleistungen/produktpruefung-und-produktzertifizierung/zertifikatsdatenbank/z2-167-spielplatzgeraete> (zugegriffen 25. Oktober 2022).
- [67] I. Zluwa, „Innenraumbegrünung“, Universität Bodenkultur Wien, 2013.
- [68] C. Kainz, „Begrünung von Pflegeeinrichtungen: Anforderungen und Umsetzungsmöglichkeiten“, S. 87 pages, 2020, doi: 10.34726/HSS.2020.69361.
- [69] R. Zajonz, „Frequenzabhängige Betrachtungen zum Pflanzenwachstum in Wintergärten in Abhängigkeit von den Eigenschaften verschiedener Verglasungen“, Diplomarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim, 2006.
- [70] Wikipedia, „Substrat (Boden)“. [https://de.wikipedia.org/wiki/Substrat_\(Boden\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Substrat_(Boden)) (zugegriffen 7. August 2022).
- [71] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinien - Begriffsbestimmungen. 2015.
- [72] Azra Korjenic, D. Tudiwer, J. Hollands, und H. Fischer, „Grüne Architektur im Schulbau - Leitfaden“, Technische Universität Wien, Universität für Bodenkultur Wien, Dipl. Ing. Ralf Dopheide, B-Nk GmbH, Wien, Leitfaden. [Online]. Verfügbar unter: https://www.b-nk.at/?post_type=wpdmpro&p=3975&wpdmdl=3975&refresh=62ee78649ffd1659795556
- [73] FeuerTrutz, „Brandschutzklassen nach DIN 4102 und EN 13501-1“. <https://www.feuertrutz.de/brandschutzklassen-nach-din-4102-und-en-13501-1-26072017#:~:text=Europ%C3%A4ische%20Klassifizierung%20nach%20EN%2013501%2D1&text=A%20%3A%20kein%20Beitrag%20zum%20Brand,D%20%3A%20hinnehmbarer%20Beitrag%20zum%20Brand> (zugegriffen 6. Juli 2022).
- [74] Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 2, Brandschutz. 2019.
- [75] Komitee 006, ÖNORM EN 12501-1 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. 2020.
- [76] Komitee 176, ÖNORM B 1991-1-1 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen. 2020.
- [77] T. Renner, „Lebenszykluskosten von Low-Cost-Begrünungssystemen für Schulen“, Bachelorarbeit, Technische Universität Wien, 2022.
- [78] RIS, Gesamte Rechtsvorschrift für Privatschulgesetz. 2022. Zugegriffen: 12. Oktober 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009266>

- [79] R. K. Yin, „Designing case studies“, *Qualitative research methods*, Bd. 5, Nr. 14, S. 359–386, 2003.
- [80] R. E. Stake, *The art of case study research*. sage, 1995.
- [81] A. Borchardt und S. E. Göthlich, „Erkenntnisgewinnung durch Fallstudien“, in *Methodik der empirischen Forschung*, S. Albers, D. Klapper, U. Konradt, A. Walter, und J. Wolf, Hrsg. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2009, S. 33–48. doi: 10.1007/978-3-322-96406-9_3.
- [82] K. M. Eisenhardt, „Building theories from case study research“, *Academy of management review*, Bd. 14, Nr. 4, S. 532–550, 1989.
- [83] Wikipedia, „Mindmap“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mindmap> (zugegriffen 15. Oktober 2022).
- [84] I. Kovacic, „Lebenszykluskosten und -Analyse“, Technische Universität Wien, Vorlesung, 2020.
- [85] Österreichische Nationalbank, „Inflation aktuell - Die Inflationsrate der OeNB“, Wien, Q3/21.
- [86] J. Hollands, „Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme“, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien, 2017.
- [87] Österreichische Nationalbank, „Anknüpfungszinssätze“. <https://www.oenb.at/Service/Zins--und-Wechselkurse/Anknuempfungszinssaetze.html> (zugegriffen 8. Oktober 2022).
- [88] R. Sofric, „Lebenszyklus von Fassadenbegrünungssystemen als Grundlage für die Berechnung der Lebenszykluskosten“, S. 117 pages, 2021, doi: 10.34726/HSS.2021.79140.
- [89] R. Dopheide, „Begrünungen - Kosten“, 20. Dezember 2021.
- [90] Herr S., „Interview mit dem Klassenlehrer des Camille Sitte Bautechnikums“, 20. Juni 221 n. Chr.
- [91] Herr F., „Interview mit dem Klassenlehrer des Camillo Sitte Bautechnikums“, 14. Januar 2022.
- [92] Frau R., „Interview mit der Klassenlehrerin des Camillo Sitte Bautechnikums“, 4. November 2021.
- [93] Wikipedia, „Crowdsourcing“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Crowdsourcing> (zugegriffen 8. Juli 2022).
- [94] Wikipedia, „Peer-to-Peer“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Peer-to-Peer> (zugegriffen 8. Juli 2022).